

文章编号:0258-7106(2002)01-0045-08

青海赛坝沟金矿地质特征及成矿时代*

丰成友 张德全 李大新 崔艳合

(中国地质科学院矿产资源研究所,北京 100037)

摘要 青海赛坝沟金矿是近年在柴达木盆地北缘地区发现的一个较为典型的金矿床。文章对该金矿床形成的地质背景、矿床基本地质特征和成矿时代进行了研究,并对矿床成因进行了较为深入的探讨。研究表明,矿床主要赋矿围岩为花岗闪长岩-英云闪长岩,形成时代为新元古代,代表着柴北缘造山带的基底;矿床严格受NW向韧性剪切带控制,与金矿化有关的蚀变主要为硅化、黄铁绢英岩化和黄铁矿化;绢云母 Ar-Ar 法测得蚀变糜棱岩型金矿石的年龄为(426±2) Ma,另见有含金石英脉切穿印支期花岗岩脉[全岩 K-Ar 年龄为(210±3) Ma],矿化可分为两期。该矿床应为加里东期和晚华力西-印支期复合造山作用形成的造山型石英脉亚型金矿床。

关键词 造山型金矿 地质特征 成矿时代 青海赛坝沟

中图分类号: P618.51;P597+.3

文献标识码: A

造山型金矿床(Orogenic gold deposits)是近几年由 Groves 等人(1998)提出的,是指产于变质地体中在时间和空间上与增生构造有关的脉型金矿床系列,包括以前所说的脉型金矿、中温或中深金矿、前寒武纪金矿、浊积岩中的脉型金矿、板岩带中的脉型金矿、绿岩带中的金矿和剪切带中的金矿等。由于脉型金矿主要产于中地壳、绿片岩相环境,以往人们常将其称为中温或中深金矿床。后来的研究发现该类矿床有很宽的深度(2~20 km)和温度(150~700℃)范围,而按照 Lindgren(1933)的原定义,中温深成热液金矿床的形成深度介于1.2~3.6 km之间,主要指以沉积岩容矿的卡林型矿床和斑岩、夕卡岩矿床(Poulsen,1996),显然两者已不相符。另外,此类矿床的银含量较高,有时还伴随有W、Mo、Te等的富集,因此“单一金矿床”的叫法也是不正确的。事实上,众多研究表明上述金矿床有相似的金属元素组合、成矿流体特征和地球动力学背景,而且都与造山作用有关(Groves et al., 1998; Kerrich et al., 1990; 1993; 1994; Goldfarb et al., 1998; Witt et al., 1998),据此, Groves 等(1998)建议统一叫作造山型金矿床。R. Kerrich 等人(2001)还将其归为6种最新提出的金矿床中的一种,其研究普遍受到关注。

赛坝沟金矿地处青海省乌兰县境内,是青海省

地矿局地质六队于1994~1995年期间进行异常查证时发现的,后经勘探证实达到中型规模,平均品位为4.34~10.47 g/t,目前已进入全面开发阶段。该矿床发现以后,付青元(1998)、张拴宏(2000)等对其进行了初步研究。笔者在承担部“九五”资源与环境科技攻关项目时做了一些工作,结果表明该矿床是近年在柴达木盆地北缘地区发现的一个较为典型的金矿床,与这里的造山作用有密切的成因联系,是研究造山型金矿床的良好范例。本文主要通过对其地质特征及成矿时代的研究来探讨此类矿床的成矿机制,并为在该区寻找同类矿床提供理论依据。

1 成矿区域地质背景

赛坝沟金矿处于NW向的柴达木盆地北缘之欧龙布鲁克花岗-变质杂岩带南缘东段与NNW向的哇洪山断裂带的交汇部位。区内出露地层主要有下元古界达肯大坂群(Pt₁dk)、上奥陶统滩间山群(O₃tn)、上泥盆统牦牛山组(D₃m)、新近系油砂山组(N₂y)和第四系。其中下元古界达肯大坂群主要由已退变质为高绿片岩相的角闪斜长片麻岩、斜长角闪岩和角闪石岩等组成。区内岩浆活动显著,从超基性岩到酸性岩均有出露,以中酸性侵入岩为主,时

* 国土资源部“九五”资源与环境科技攻关项目(95-02-005)部分研究成果

第一作者简介 丰成友,男,1972年生,博士,助理研究员,主要从事矿床地质和地球化学研究。

收稿日期 2001-06-08;改回日期 2001-10-29。张绮玲编辑。

代除主要为晚华力西期-印支期外,还有新元古代。其中新元古代中粗粒花岗闪长岩-英云闪长岩是赛坝沟金矿的主要围岩。矿区及外围断裂构造十分发育,从而形成了由NW向逆冲断层与NE向平移断层所围限的元古代构造窗(图1)。除赛坝沟金矿床外,在该区东部还有乌达热乎金矿床,西部有石棉沟金矿点,在嘎顺地区还发现了多处金铜矿点,显示了良好的找矿前景。

2 矿床地质特征

2.1 赋矿围岩——花岗闪长岩-英云闪长岩

中粗粒花岗闪长岩-英云闪长岩是赛坝沟金矿的主要赋矿围岩,呈长约14 km、宽0.7~2 km的西窄东宽不对称透镜状岩株沿NW向展布。在矿区北部和西北部分别与下元古界达肯大坂群和上奥陶统滩间山群呈断层接触,其东侧被晚华力西期二长花

岗岩侵入。该岩体中产有NW向大型剪切带,并受NW向逆冲断层和NE向平移断层控制,形成了元古宙构造窗(图1)。花岗岩闪长岩呈灰白色,半自形柱粒状结构,块状构造,主要造岩矿物为斜长石(50%~55%)、钾长石(13%)、石英(20%~25%)、普通角闪石(15%~20%)及少量黑云母(3%~5%)。英云闪长岩呈灰-灰白色,半自形粒状结构和块状构造,矿物成分主要由斜长石(55%左右)、石英(35%~40%)和黑云母(10%)组成。两类岩石中的斜长石均为自形板状中长石,环带构造明显,暗色矿物普遍遭受绿泥石化和绿帘石化,仅局部残留有黑云母细片。副矿物均为磁铁矿、磷灰石和金红石组合。

3个样品的岩石化学分析结果(表1)表明,岩石具有低硅[$w(\text{SiO}_2)$ 平均为61.69%]、高铝[$w(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 平均为15.94%]、高镁铁钙、略低碱质[$w(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ 平均为3.58%]等特征,且随着

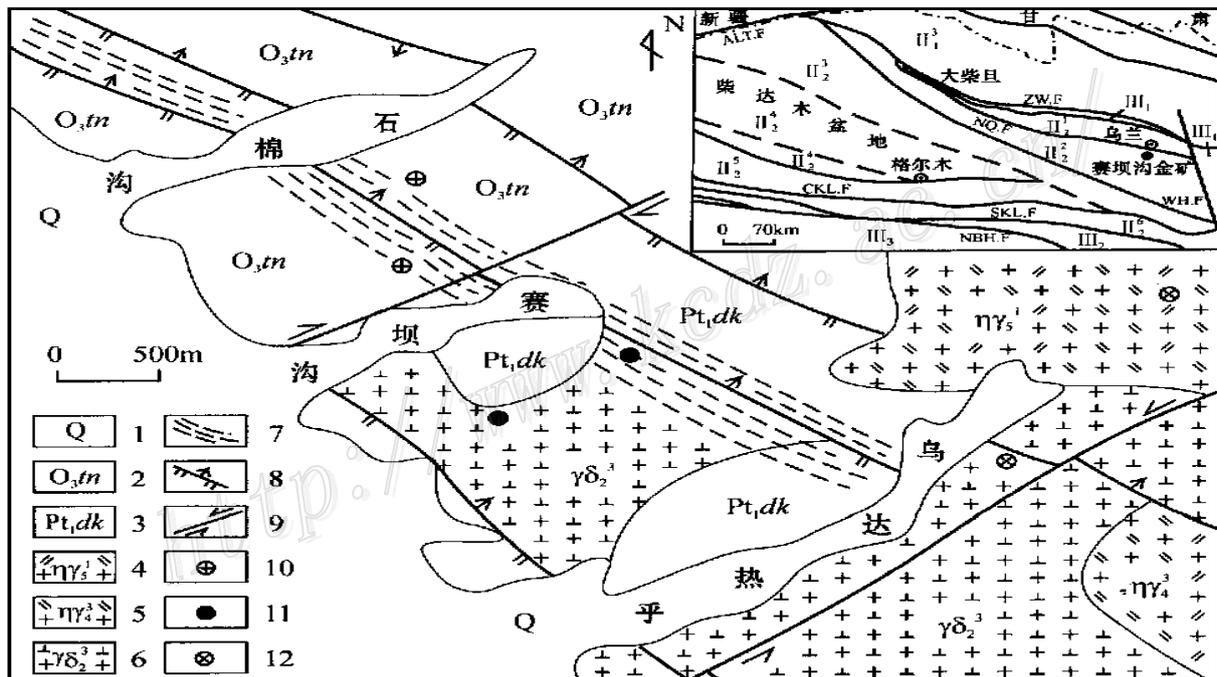


图1 赛坝沟金矿区域地质略图

1—第四系; 2—上奥陶统滩间山群; 3—下元古界达肯大坂群; 4—印支期二长花岗岩; 5—华力西期二长花岗岩; 6—新元古代花岗闪长岩-英云闪长岩; 7—韧性剪切带; 8—逆断层; 9—平移断层; 10—石棉沟金矿点; 11—赛坝沟金矿床; 12—乌达热乎金矿床。插图中的构造区和断裂见张德全等(2001)

Fig. 1 Simplified regional geological map of the Saibagou gold deposit

1—Quaternary; 2—Upper Ordovician Tanjianshan Group; 3—Lower Proterozoic Dakendaban Group; 4—Indosinian adamellite; 5—Variscan adamellite; 6—Upper Proterozoic granodiorite; 7—Ductile shear zone; 8—Reverse fault; 9—Strike-slip fault; 10—Shimiangou ore spot; 11—Saibagou gold deposit; 12—Wudarehu gold deposit. For tectonic units and faults of the insert map see Zhang et al. (2001)

表 1 赛坝沟金矿花岗闪长岩岩石化学成分

Table 1 Chemical composition of granodiorite in the Saibagou gold deposit

| 样号 | w _B / % | | | | | | | | | | | | | 烧失量 | 总量 |
|--------|--------------------|------------------|--------------------------------|------|--------------------------------|------|------|------|------------------|-------------------|-------------------------------|------------------|-----|-------|----|
| | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | FeO | Fe ₂ O ₃ | MnO | CaO | MgO | K ₂ O | Na ₂ O | P ₂ O ₅ | H ₂ O | | | |
| WS-16 | 66.09 | 0.35 | 14.73 | 3.13 | 3.02 | 0.17 | 6.02 | 1.90 | 0.33 | 2.64 | 0.14 | — | 1.4 | 99.92 | |
| 27S-37 | 56.39 | 0.65 | 16.78 | 5.04 | 3.29 | 0.15 | 7.37 | 3.95 | 0.74 | 2.96 | — | 0.15 | — | 97.47 | |
| 27S-38 | 62.59 | 0.50 | 16.30 | 3.62 | 2.68 | 0.15 | 5.33 | 2.54 | 0.88 | 3.18 | — | 0.14 | — | 97.91 | |

注: WS-16 由中国科学院地质研究所测试; 27S-37、27S-38 引自 ●; “—” 为低于检出线者。

SiO₂ 含量增大, MgO、CaO、(Fe₂O₃ + FeO) 的含量明显减少, 呈现负相关关系, TiO₂ 和 Al₂O₃ 含量变化不大, 略呈减小趋势。相反, (Na₂O + K₂O) 则随 SiO₂ 含量的增加而明显地增大, 呈现出正相关, 但离散大, 相关性较差。

对一个花岗闪长岩样品进行了稀土元素和痕量元素分析(由中国科学院地质研究所测试), 稀土元素含量($\times 10^{-6}$) 分别为: La 4.38、Ce 10.27、Pr 1.34、Nd 6.27、Sm 1.85、Eu 0.78、Gd 2.62、Tb 0.47、Dy 2.81、Ho 0.68、Er 2.07、Tm 0.31、Yb 2.13、Lu 0.30。稀土总量较低, 为 36.28×10^{-6} , δ Eu 为 1.08, 具轻微正铈异常, LREE/HREE 为 2.12, 反映轻重稀土之间的分馏程度较低, 在稀土元素球粒陨石标准化模式图上表现为一条极其平缓的曲线, 这些特征与幔源花岗岩非常相似。痕量元素分析结果($\times 10^{-6}$) 为: Y 20.41、Sr 228、K 3310、Rb 16.21、Ba 330、Th 1、Ta 1.19、Nb 2.10、P 496.9、Zr 21.34、Ti 2075、Sc 30.02、Cr 105.4, 从痕量元素洋中脊玄武岩标准化模式图中可以看出, 该岩体的高场强元素(HFSE) 相对亏损, 轻稀土(LREE) 和大离子亲石元素(LILE) 相对富集, 并具 Ba、Ta、Sm 正异常和 Nb、Zr、Ti 负异常之特征, 与钙碱性玄武岩相类似。

有关赛坝沟花岗闪长岩体的形成时代认识不一, 青海省区域地质志(1991) 将其划归为华力西期, 最近的 1:5 万区调报告 ● 又将其划入加里东期, 本次对分别采自该岩体不同部位的 5 件样品进行了全岩 Rb-Sr 等时线年龄测定(中国科学院地质研究所测试), 结果为 (946 ± 24) Ma, 为新元古代, 详细内容笔者将另文阐述。

综合上述, 该花岗闪长岩-英云闪长岩与太古宙花岗闪长岩-英云闪长岩-英安岩有基本一致的岩石

地球化学特征, 反映其是在高地温梯度条件下由洋壳熔融形成的(Martin, 1987; 1993)。另外, 花岗闪长岩形成时代的确定, 野外观察到的该岩体明显受晚加里东期区域 NW 向大型韧性剪切带作用[剪切带中糜棱岩型金矿石绢云母 Ar-Ar 年龄为 (426 ± 2) Ma, 见下文]以及上述岩石学、稀土元素和痕量元素特征明显不同于区域上加里东-燕山期各类岩石 ●, 皆表明其应代表柴北缘造山带或柴北缘加里东裂陷槽的基底。

2.2 控矿构造

矿区内构造十分发育, 主要表现为 NW 向的韧性剪切-断裂带, 控制着区内乌达热乎金矿床、赛坝沟金矿床和石棉沟金矿点的产出。NW 向韧性剪切带由数十条强、弱应变带相间构成, 长十几公里, 宽 15~800 m, 从区域 NW 向至 SE 向分别穿过上奥陶统滩间山群、下元古界达肯大坂群和新元古代花岗闪长岩体(图 1)。根据剪切带与各地质体之间的相互关系及部分测年数据, 并通过几何学、运动学分析认为该剪切带经历了两次活动, 即晚加里东期右旋逆冲剪切和印支期左旋斜冲剪切, 后者形成的断裂-裂隙系统叠加于前者之上, 为前者的配套构造, 直接控制着含金石英脉的空间展布。这种 NW 向的韧性剪切带在区域上分布广泛且多期次活动特征十分明显(周显强等, 1996)。NW 向的断裂带系一组以压性为主的压扭性断裂构造, 产状向 NE 陡倾, 平面上呈彼此平行、密集分布的逆冲断层, 构成叠瓦式构造(图 2)。断裂一般长大于 1 000 m, 宽多在 0.5~4 m 之间, 断裂面呈舒缓波状。断裂带内岩石变形变质作用强烈, 广泛发育黄铁绢英岩化和黄钾铁钒化, 构造岩类型主要有糜棱岩、超糜棱岩、构造片岩、碎裂岩等。野外观察发现断裂带内韧性变形标志非常明显, 主要表现为增强的面理构造、

● 地质部青海省地质局. 1968. 1:20 万乌兰幅区域地质测量报告.

● 青海地质矿产勘查研究院. 1998. 1:5 万托莫尔日特幅区域地质调查报告.

● 张德全, 崔艳合, 等. 2000. 柴达木盆地北缘成矿地质环境及金多金属矿产预测. 科研报告. 56~96.

S-C组构、旋转碎斑及眼球状构造、拉伸线理、石香肠构造、变形条带状构造、无根褶皱等,脆性变形主要表现为断裂带内发育大量的构造碎裂岩及断层角砾岩。主要韧性变形组构有石英的波状消光及变形纹、S-C组构、眼球状构造及核幔构造、旋转碎斑系、微褶皱及扭褶等。脆性变形组构主要包括切穿面理的变形脉体、雁列式张裂脉、显微断裂及裂隙等。

此外,矿区还发育一组NE向断裂-裂隙构造,其倾向NW或SE,倾角较陡,断裂面平直,以平移断层为主,属成矿后的破矿构造。

2.3 矿床特征

该矿床的矿体产于NW向韧-脆性剪切带中的断裂-裂隙系统中,一般呈脉状、透镜状、不规则状,沿走向出现膨大缩小、尖灭再现和分支等现象(图2)。矿体产状变化较大,总体走向为NW-SE向,倾向以NE向为主,部分矿体由于地表重力蠕动作用,近地表向SW向倾斜,但向深部逐渐变为NE倾向。矿体倾角较陡,一般介于 $60 \sim 80^\circ$ 之间,局部近

于直立。矿体长度十几米至200多米不等,平均厚度差别大,最厚达3.3m,最薄处不到1m,最重要的为II号带和V号带中的矿体(图2)。

矿石类型主要有两种,即石英脉型和黄铁绢英岩化糜棱岩型,以前者为主,它们常在空间上共生,并有分带性。石英脉型金矿石品位较高, $w_{Au} > 5 \times 10^{-6}$,而黄铁绢英岩化糜棱岩型矿石相对较贫, w_{Au} 为 $1 \times 10^{-6} \sim 7 \times 10^{-6}$ 。矿石矿物成分简单,主要为自然金、银金矿、黄铁矿、黄铜矿、磁铁矿、赤铁矿、毒砂、方铅矿、闪锌矿等,脉石矿物主要有石英、斜长石、绢云母、绿泥石等。金矿物大多以微粒和细粒自然金形式存在,有时也可见到明金。微粒-细粒自然金呈淡黄色,规则或不规则它形粒状、片状和圆形粒状,粒度在 $0.001 \sim 0.025$ mm之间,自然金的赋存形式主要是以单晶颗粒赋存于石英颗粒间的粒间金和以单晶颗粒充填于裂隙间的裂隙金。矿石结构主要为交代结构、交代残留结构、胶状结构、碎裂结构、粒状变晶结构、粒状鳞片变晶结构、糜棱结构等;

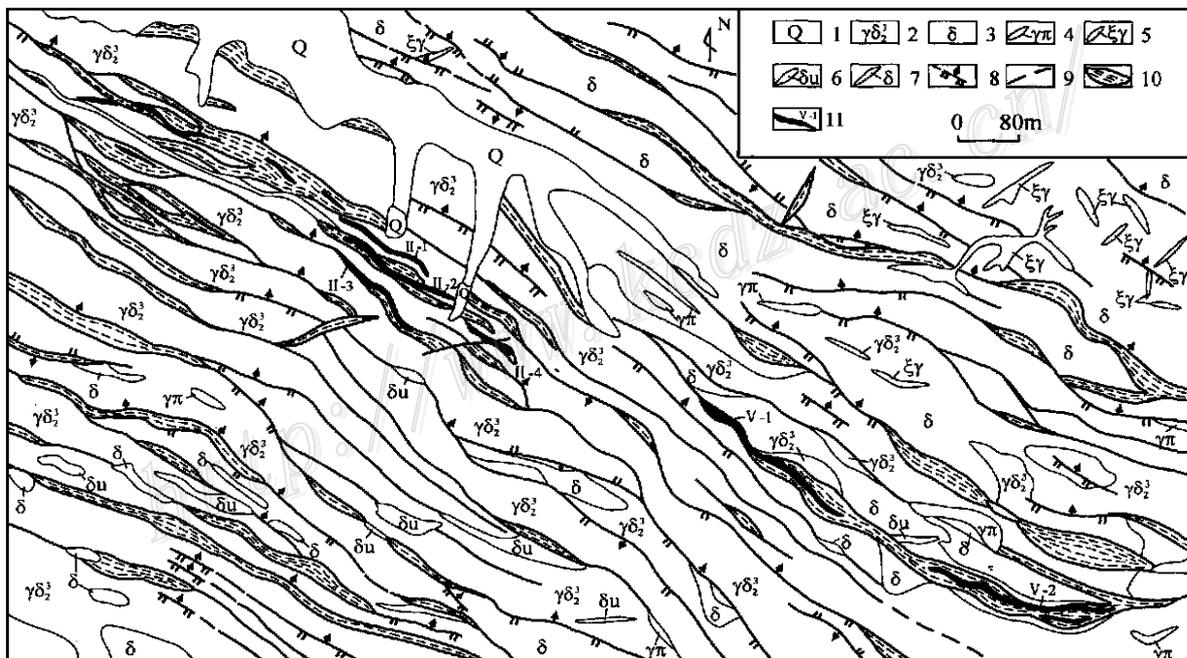


图2 赛坝沟矿区地质略图(据青海省地质六队资料修编,1998)

1—第四系;2—新元古代花岗闪长岩-英云闪长岩;3—细粒闪长岩;4—花岗斑岩脉;5—钾长花岗岩脉;6—闪长玢岩脉;7—闪长岩脉;8—实测及推测逆断层;9—实测及推测性质不明断层;10—韧性剪切带(糜棱岩带);11—金矿体及编号

Fig. 2 Sketch geological map of the Saibagou ore district

1—Quaternary; 2—Upper Proterozoic granodiorite-tonalite; 3—Fine-grained diorite; 4—Granite-porphphy dyke; 5—K-feldspar granite dyke; 6—Diorite porphyrite dyke; 7—Diorite dyke; 8—Measured and inferred reverse fault; 9—Measured and inferred undetermined fault; 10—Ductile shear belt (mylonitized zone); 11—Gold orebodies and serial number

矿石构造主要为稀疏浸染状、脉状、条带状和定向构造等。

围岩蚀变发育,主要蚀变类型有黄铁绢英岩化、黄铁矿化、硅化、钠黝帘石化、绿泥石化、高岭土化、碳酸盐化等。其中硅化、黄铁绢英岩化、黄铁矿化与金矿化关系最为密切。总体来说热液蚀变分带较明显,在石英脉矿体的两侧发育由强硅化、黄铁矿化和绢云母化构成的黄铁绢英岩化蚀变带,一般带宽 0.2 m 左右。强烈发育的水热蚀变矿物绢云母为本次测定该矿床的形成时代奠定了物质基础。

3 样品处理及分析方法

本次测定的样品为采自赛坝沟矿区 NW 向韧性剪切带中 V-1 矿体的黄铁绢英岩化蚀变糜棱岩金矿石。样品处理的程序是:将样品粉碎至 180 目后,首先进行重选,剔除大部分重矿物,然后称出相应重量的轻矿物样品粉末,送作 K-Ar 分析,其余的样品粉末,再进一步在水体中反复沉淀,最后将提取液烘干,并经鉴定确认后获得绢云母单矿物样品,单矿物纯度大于 98%。

样品由中国地质科学院地质研究所同位素地质年代学实验室陈文测试,测定仪器为英国生产的 VGMM-1 200B 惰性气体质谱计,样品照射时间为 3 900 min,累计快中子通量为 $1.5 \times 10^{18} \text{ n}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s})$,照射参数 $J = 0.012405$ 。采用的标准样品为:国际标样 BSP-1 角闪石,其年龄值为 $(2\ 060 \pm 8) \text{ Ma}$;中国标样 ZBH-25 黑云母,其年龄值为 132.8 Ma 。仪器的本底分别为 $^{40}\text{Ar} = 2 \times 10^{-14} \text{ mol}$, $^{39}\text{Ar} = 6 \times 10^{-16} \text{ mol}$, $^{37}\text{Ar} = 7 \times 10^{-17} \text{ mol}$, $^{36}\text{Ar} = 6 \times 10^{-17} \text{ mol}$,年龄误

差以 2σ 给出。分析数据见表 2。

4 分析结果

通过阶段升温加热法获知,样品在低温(400 ~ 600 °C)和高温(1 160 ~ 1 400 °C)阶段,其 ^{39}Ar 析出率都较低,它们给出的视年龄不具地质年代学意义,其余 5 个温度段(4 ~ 8 阶段)的析出率都较高,视年龄构成一条较为平坦的均一主坪(图 3),对应的坪年龄为 $(426 \pm 2) \text{ Ma}$,表明此坪年龄可代表样品的形成年龄。由于该样品的坪年龄是由 5 个加热阶段的数据点构成,因此,还可进行等时线年龄的计算。在 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar} - ^{39}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 等时线图中(图 3),5 个点构成了一条很好等时线,等时线年龄为 $(422 \pm 5) \text{ Ma}$,可以看出,等时线年龄与坪年龄非常接近,相差不超过 5 Ma,而且初始值($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$)_i 为 308.81,接近于尼尔值(295.5),基本上可以排除用于定年的绢云母中存在明显过剩氩的可能性,从而说明该坪年龄是准确可靠的,代表了该矿床形成的主成矿时代。

5 讨论与结论

柴北缘地区位于青海省的西部,是中国中央造山带——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)。近些年来,诸多学者对区域地质构造及其演化进行了研究(姜春发等,1992;陈炳蔚等,1995;殷鸿福等,1998),可分为 4 个构造旋回,其中,早古生代造山旋回和晚华力西-印支造山旋回与该地区金铜多金属成矿关系最密切。复合造山过程决定了该地区造山型金矿的多期次成矿和

表 2 赛坝沟金矿绢云母 $^{40}\text{Ar} - ^{39}\text{Ar}$ 阶段升温加热分析数据

Table 2 $^{40}\text{Ar} - ^{39}\text{Ar}$ incremental heating analytical data for sericite from the Saibagou gold deposit

| 阶段 | $t/^\circ\text{C}$ | $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ | $^{36}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ | $^{37}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ | $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ | $^{39}\text{Ar}/10^{-14} \text{ mol}$ | 年龄/ Ma | ^{39}Ar 累积/ % | ^{40}Ar / % |
|----|--------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|------------------|------------------------|----------------------|
| 1 | 400 | 19.0366 | 0.0223 | 0.0465 | 12.4414 | 411.12 | 258.9 ± 2.8 | 4.59 | 2.76 |
| 2 | 500 | 20.4484 | 0.0047 | 0.0684 | 19.0632 | 986.79 | 382.9 ± 3.8 | 15.59 | 10.16 |
| 3 | 600 | 21.4321 | 0.0023 | 0.0412 | 20.7452 | 1326.72 | 413.1 ± 4.2 | 30.39 | 14.87 |
| 4 | 700 | 21.6148 | 0.0004 | 0.0179 | 21.5045 | 2749.47 | 426.6 ± 4.1 | 61.05 | 31.94 |
| 5 | 780 | 21.8084 | 0.0021 | 0.0159 | 21.1775 | 1316.98 | 420.8 ± 3.8 | 75.74 | 15.06 |
| 6 | 860 | 21.8679 | 0.0017 | 0.0051 | 21.3591 | 1231.88 | 424.0 ± 4.1 | 89.48 | 14.21 |
| 7 | 960 | 22.3550 | 0.0020 | 0.0157 | 21.7616 | 743.24 | 431.1 ± 4.1 | 97.77 | 8.74 |
| 8 | 1060 | 23.9458 | 0.0084 | 0.0429 | 21.4496 | 130.66 | 425.6 ± 6.6 | 99.23 | 1.51 |
| 9 | 1160 | 30.0993 | 0.0239 | 0.2413 | 23.0487 | 36.33 | 453.7 ± 15.2 | 99.64 | 0.45 |
| 10 | 1400 | 27.7792 | 0.0378 | 0.1929 | 16.6080 | 32.72 | 337.9 ± 17.0 | 100.00 | 0.29 |

注:由中国地质科学院地质研究所同位素年代学实验室测试;样重 $m = 104.60 \text{ mg}$;照射参数 $J = 0.012405$ 。

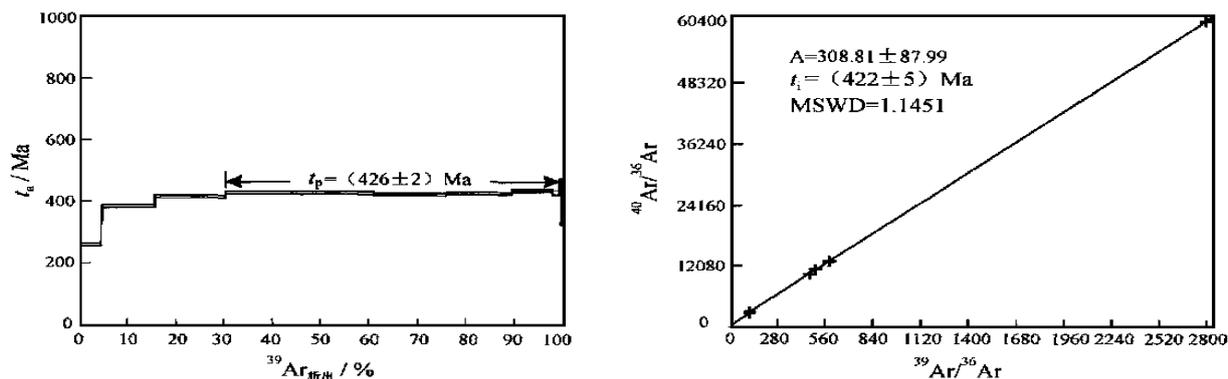


图3 赛坝沟金矿绢云母 Ar-Ar 年龄谱及等时线图

t_a —视年龄; t_p —坪年龄; t_i —等时线年龄

Fig. 3 Ar-Ar sericite plateau age and isochron line of the Saibagou gold deposit

t_a —Apparent age; t_p —Plateau age; t_i —Isochron age

复合-叠加成矿特征。成矿年龄主要有两组,即晚加里东期(425.5 ~ 400 Ma)和晚华力西-印支期(296 ~ 200 Ma)(张德全等,2001),加里东造山的软碰撞过程使此次成矿大多只形成非经济的矿化,金矿体的最终定型主要与晚华力西-印支期的最终隆起成山过程有关,也显示了金成矿与造山期后的地球动力学过程的密切关系。空间上,该区造山型金矿严格受三级构造系统控制,即深断裂或碰撞带(第一级)、大型剪切带(第二级)、褶皱或断裂-裂隙系统(第三级),通常低级构造系统是高级构造系统的派生或配套构造。总体上,所有金矿都沿深断裂或碰撞带的近侧分布(即分布于三级构造带或板片的边部),一条大型剪切带通常控制了二个或二个以上矿床和多个矿点的展布,而矿床和矿体则定位于大型剪切带内或旁侧的褶皱及断裂-裂隙系统中。这三级构造系统是造山过程的产物,因此,造山型金矿的分布格局和矿体定位及矿体的空间组合样式亦是造山作用的结果。大量研究表明(Groves et al., 1998, 2000; Witt et al., 1998; Goldfarb et al., 1998; Chil-Sup et al., 1997; Jiang et al., 1999),造山带中有流体大规模活动的记录,这种流体为低盐度的 $H_2O-NaCl-CO_2 \pm CH_4 \pm N_2$ 体系。与碰撞有关的热事件(包括造山花岗岩侵入)以及逐步升高的地热增温率,驱动被加热的建造水和大气降水沿碰撞带和大型剪切带长距离地迁移、活动,并淋取围岩的成矿元

素,形成含金流体。在进入矿床或矿体构造后,由于这里构造性质转换,物理化学条件亦随之改变,含金流体沉淀,形成金矿体。

赛坝沟金矿产于柴北缘深断裂南侧的 NW 向韧-脆性剪切带中,构造控制十分明显。矿区晚华力西-印支期构造岩浆活动强烈,形成多条 NW 向的构造片理化带,为主要控矿、容矿构造,并有钾长花岗岩、花岗斑岩、闪长玢岩、闪长岩等中酸性岩脉侵入。矿石类型主要为石英脉型,其次为与其共生的黄铁绢英岩化糜棱岩型。绢云母 Ar-Ar 法测得产于 NW 向剪切带中的蚀变糜棱岩型金矿石的年龄为(426 ± 2) Ma,说明区域性 NW 向韧-脆性大型剪切带为晚加里东造山过程的产物,野外观察还发现矿床主要赋围岩——花岗闪长岩-英云闪长岩明显遭受该 NW 向大型剪切带作用,说明该岩体的形成时代要早于加里东期,从而证实了其形成于前寒武纪,代表着柴北缘造山带基底的正确性。另外,在矿区北东部,控矿的 NW 向韧-脆性剪切带的面理被印支期花岗岩脉[全岩 K-Ar 年龄为(210 ± 3) Ma^①] 穿过。在该剪切带中段,赋存于剪切带内的含金石英脉不仅切穿剪切面理,而且还切穿印支期花岗岩脉,以上说明该矿床至少存在两期矿化,早期与韧性剪切有关,发生于印支期以前,而第二期矿化则晚于印支期花岗岩。综合上述,该矿床应为加里东碰撞造山和晚华力西-印支陆内叠加造山复合成矿作用形成的造

① 青海地质矿产勘查研究院, 1998. 1: 5 万托莫尔日特幅区域地质调查报告.

山型石英脉亚型金矿床。

致谢 野外地质工作得到了青海地矿局地质六队一些同志的大力帮助,曾就有关问题与中国地质科学院地质力学研究所张拴宏博士进行过有益的讨论,在此一并表示衷心的感谢!

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) .
- Chil-Sup S and Seong-Taek Y. 1997. Jurassic mesothermal gold mineralization of the Samhwanghak mine, Youngdong area, Republic of Korea: Constraints on hydrothermal fluid geochemistry [J]. *Econ. Geol.*, 92: 60 ~ 80.
- Fu Q Y and Li B L. 1998. Metallogenic features and ore-controlling conditions of the Saibagou gold deposit, Qinghai[J]. *Geol. of Qinghai*, 7(1): 43 ~ 49 (in Chinese with English abstract) .
- Goldfarb R J, Phillips G N and Nokleberg W J. 1998. Tectonic setting of synorogenic gold deposits of the Pacific Rim[J]. *Ore Geol. Rev.*, 13(1 ~ 5): 185 ~ 218.
- 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-kine matic 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(12)[C]. Beijing: Geological Publishing House. 1 ~ 224 (in Chinese) .
- Jiang N, Xu J H and Song M X. 1999. Fluid inclusion characteristics of mesothermal gold deposits in the Xiaoqinling district, Shaanxi and Henan Provinces, People's Republic of China[J]. *Mineralium Deposita*, 34: 150 ~ 162.
- Kerrich R and Wyman D A. 1990. The geodynamic setting of mesothermal gold deposits: An association with accretionary tectonic regimes [J]. *Geology*, 18: 882 ~ 885.
- Kerrich R. 1993. Perspectives on genetic models for lode-gold deposits [J]. *Mineralium Deposita*, 28: 362 ~ 365.
- Kerrich R and Cassidy K F. 1994. Temporal relationships of lode-gold mineralization to accretion, magmatism, metamorphism and deformation, Archean to present: A review[J]. *Ore Geol. Rev.*, 9: 263 ~ 310.
- Kerrich R, Goldfarb R, Groves D, et al. 2001. The characteristics, origins and geodynamic settings of supergiant gold metallogenic provinces [J]. *Science in China(series D)*, 43(supp.): 1 ~ 68.
- Lindgren W. 1933. *Mineral Deposits*[M]. 4th ed. New York and London: McGraw Hill. 930.
- Martin H. 1987. Petrogenesis of Archaean trondhjemites, tonalites, and granodiorites from eastern Finland: major and trace element geochemistry[J]. *Journal of Petrology*, 28: 921 ~ 953.
- Martin H. 1993. The mechanisms of petrogenesis of the Archaean continental crust-comparison with modern processes[J]. *Lithos*, 30: 373 ~ 388.
- Poulsen K H. 1996. Lode-gold. In: Eckstrand O R, Sinclair W D, Thorpe R I ed. *Geology of Canadian Mineral Deposit Types. The Geology of North America*[C]. *Geol. Soc. Am.*, P-1: 323 ~ 328.
- Witt W K and Vanderhor F. 1998. Diversity within a unified model for Archean gold mineralization in the Yilgarn Craton of Western Australia: An overview of the late-orogenic, structurally-controlled gold deposits[J]. *Ore Geol. Rev.*, 13 (1 ~ 5): 29 ~ 64.
- Yin H F and Zhang K X. 1998. Evolution and characteristics of the central orogenic belt[J]. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 23(5): 437 ~ 442 (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 S H. 2000. Study on ore-controlling structures, tectonic stress field and ore-forming mechanism in Saibagou area, Wulan County, Qinghai Province[D]. Beijing: Institute of Geomechanics, CAGS, 1 ~ 71 (in Chinese with English abstract) .
- Zhou X Q, Song Y G, Deng J, et al. 1996. A study of structural control of ores in the Dulan area, Qinghai[J]. *Journal of Geomechanics*, 2 (1): 34 ~ 41 (in Chinese with English abstract) .

附中文参考文献

- 陈炳蔚, 王彦斌, 左国朝. 1995. 青藏原北部地体划分及其构造演化 [J]. *地球物理学报*, 389 增刊 (II): 98 ~ 113.
- 付青元, 李宝林. 1998. 赛坝沟金矿成矿特征及控矿条件[J]. *青海地质*, 7 (1): 43 ~ 49.
- 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.
- 殷鸿福, 张克信. 1998. 中央造山带的演化及其特征[J]. *地球科学*, 23(5): 437 ~ 442.
- 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.
- 张拴宏. 2000. 青海省乌兰县赛坝沟地区控矿构造、构造应力场及成矿机制研究[D]. 导师: 周显强. 北京: 中国地质科学院地质力学研究所. 1 ~ 71.
- 周显强, 宋友贵, 邓军, 等. 1996. 青海都兰地区控矿构造特征研究[J]. *地质力学学报*, 2(1): 34 ~ 41.

Geological Characteristics and Ore-forming Age of Saibagou Gold Deposit , Qinghai Province

Feng Chengyou , Zhang Dequan , Li Daxin , Cui Yanhe

(Institute of Mineral Resources , Chinese Academy of Geological Sciences , Beijing 100037 , China)

Abstract

The Saibagou Au deposit , discovered some five years ago and located in the northwestern part of Qinghai Province , is a quite typical gold deposit . The granodiorite-tonalite intrusive body , which was formed in Upper Proterozoic with Rb-Sr age of (946 ± 24) Ma , constitutes the main host rock . Based on petrochemical , REE and trace elements studies of this rock body , the authors hold that the granodiorite-tonalite body resulted from ocean crust melting and represents the basement of the North Qaidam orogenic belt . The NW-trending ductile-brittle shear zone in this region is the main factor controlling the formation of some deposits or ore spots , whereas the forms , modes of occurrence and sizes of the orebodies are controlled directly by faults or fissures induced from the regional NW-trending shear zone . In this deposit , the quartz vein-type ore is predominant , and the mylonite-type gold ore possesses the second place . The hydrothermal alterations related to gold mineralization consist primarily of silicification , pyritization and sericitization , and show weak zonation from the orebody to its wall rock . Hydrothermal alteration sericite separated from mylonite-type gold ore yields an Ar-Ar age of (426 ± 2) Ma . In addition , there exists a gold-bearing quartz vein that cuts the Indosinian granite in the east of the ore district , whose whole-rock K-Ar age is (210 ± 3) Ma based on the 1:50000 regional geological map . It can thus be concluded that this deposit is an orogenic quartz vein subtype gold deposit and underwent a multiple orogenic process comprising Late Caledonian ductile deformation and Late Variscan to Indosinian orogeny .

Key words : orogenic gold deposit , geological characteristics , metallogenic epoch , Saibagou , Qinghai Province

<http://www.kcdz.ac.cn/>