

文章编号:0258-7106 (2001) 02-0137-10

柴北缘—东昆仑地区的造山型金矿床^{*}

张德全 丰成友 李大新 徐文艺 阎升好 余宏全 董英君 崔艳合

(中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037)

提 要 柴北缘—东昆仑是中国西部秦祁昆褶皱山系的一部分, 它的显生宙造山经历了加里东和晚华力西—印支两个旋回, 并以多岛洋/裂陷槽、软碰撞和多旋回造山为特点。该区已发现多个造山型金矿床, 它们具有相似的地质-地球化学特征。有两组成矿年龄: 一是晚加里东期(相当于加里东造山晚期); 二是晚华力西—印支期(处于该造山旋回晚期)。前期为发生于中地壳顶部—上地壳底部的金矿化, 后期则是形成于较浅层次(1.2~5.7 km)的金矿体侵位。自区域北部向南部, 矿床元素组合由 Au-As 向 Au-Sb 转化, 金成矿年龄由老变新, 成矿深度相应变浅。研究认为, 与碰撞有关的热事件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流体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。在进入到矿床或矿体构造后, 由于构造性质转换, 物理化学条件亦随之改变, 含金流体沉淀, 形成金矿体。这些金矿床形成于造山晚期, 是造山作用的产物, 后者为前者提供了空间、热-动力条件。

关键词 造山带 金矿床 柴北缘—东昆仑**中图法分类号:** P618.51**文献标识码:** A

长期以来, 有关金矿床的分类一直众说纷纭。一些国外学者把那些产于变质地体中, 受构造控制的脉金矿床称为“中温深成热液金矿床(Mesothermal gold deposits)”。所谓的“中温深成热液金矿床”是最重要的金矿类型, 全球大部分金矿资源来自它, 大多数特大和超大型金矿床也属于此类型(Hodgson et al., 1993; Sillitoe, 1993)。国内外学者给此类金矿床冠以多种不同的术语(Groves et al., 1998), 如绿岩型金矿、破碎带蚀变岩型金矿、石英脉型金矿, 更有以围岩命名的, 如蚀变砂岩型金矿、蚀变超基性岩型金矿、浊积岩型金矿等等。随着金矿床勘查及成矿理论研究的发展, 人们逐渐认识到这些金矿床有相似的地质-地球化学特征, 并且都与造山作用有关(Groves et al., 1998; Kerrich et al., 1994; Goldfarb et al., 1998; Witt et al., 1998), 因而, Groves 等(1998)建议将其叫作“造山型金矿床(Orogenic gold deposits)”。研究认为, 这些矿床有很宽的成矿深度范围(2~20 km), 再使用“Mesothermal”这一术语, 显然不符合 Lindgren(1933)的原定义。本文的“造山型金矿床”是指那些与造山作用有关, 主要受构造控制的金矿床。

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。90 年代以来, 这里陆续发现了一批金矿产地, 根据已掌握的资料, 它们大多数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。

1 成矿地质背景

1.1 复合造山带

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)。柴北缘—东昆仑地区的地质构造演化主要包括前寒武古陆形成(造山带基底)、早古生代(加里东)造山[包括早古生代(Pt_3-O_3)洋盆开合及加里东($S-D_3$)褶皱山链的形成]、晚华力西—印支造山[包括古特提斯洋盆($C-T_3$)开合和柴北缘及东昆仑—巴颜喀拉褶皱山链(T_3)的形成]以及中生代叠复造山等 4 个构造旋回。其中, 早古生代造山旋回和晚华力西—印支造山旋回与东昆仑地区金铜多金属成矿关系最密切。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—青海南山、阿尼玛卿和北巴颜喀拉(图 1)。

该区加里东造山的结果是形成一系列微陆块加上分别位于其北面 and 南面的小洋盆或裂陷槽组成多岛小洋盆/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(大部分被柴达木盆地覆盖)、昆中。上述 3 个微陆块的北南两侧, 依次是南祁连、柴北(柴达木盆地北缘的简称)、昆北、昆南小洋盆或裂陷槽, 它们有两个开裂峰年

* 本文系国土资源部“九五”资源与环境科技攻关项目(95-02-005)和地质大调查项目(K1-1-3-1)的部分成果

第一作者简介 张德全, 1946 年生, 研究员, 长期从事矿产勘查及矿床学研究

收稿日期 2001-01-05; 改回日期 2001-02-20。张绮玲编辑。

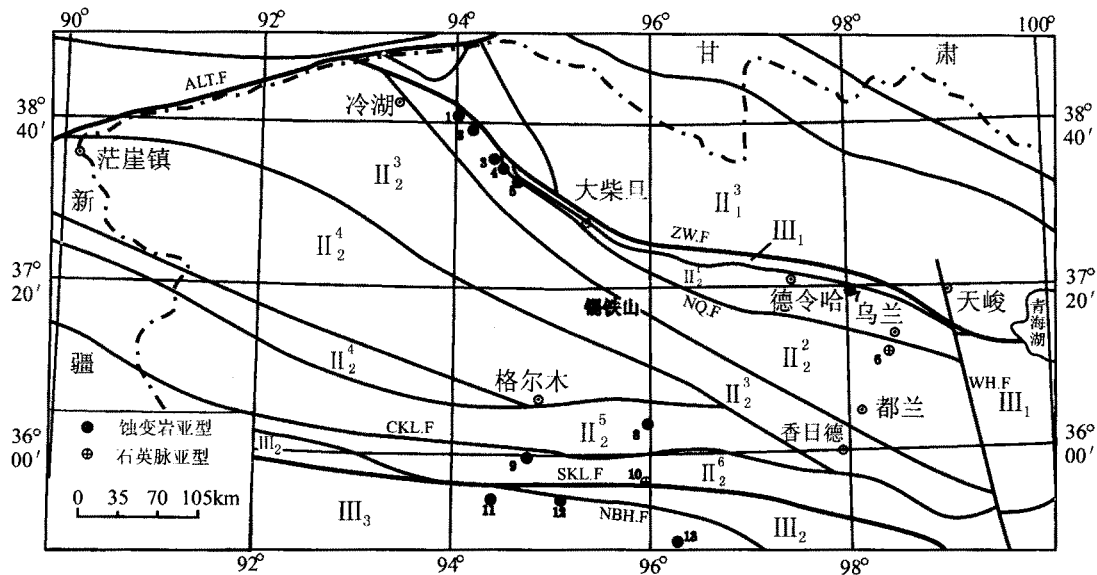


图 1 柴北缘—东昆仑地区构造分区及造山型金矿分布图

构造分区: II₁—南祁连; II₂—欧龙布鲁克; II₃—柴北; II₄—柴达木; II₅—昆北; II₆—昆中; II₆—昆南; III₁—宗务隆山—青海南山;
III₂—阿尼玛卿; III₃—北巴颜喀拉。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—昆中;
SKL.F—昆南; NBH.F—北巴颜喀拉 (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 the Qaidam Basin and the East Kunlun Mountains

Tectonic Unit: II₁—South Qilian; II₂—Oulongbuluke; II₃—North Qaidam; II₄—Qaidam; II₅—North Kunlun; II₆—Central Kunlun; II₆—South Kunlun; III₁—Zhongwulongshan-Qinghainanshan; III₂—Animaqing; III₃—North Bayankela. Fault: ALT.F—Altyn Togh; WH.F—Wahongshan; ZW.F—Zongwulongshan; NQ.F—North Qaidam; CKL.F—Central Kunlun; SKL.F—South Kunlun; NBH.F—North Bayankela (Serial number and names of the deposits as for Table 1)

龄:其一为新元古代末—寒武纪,其二为晚奥陶世。普遍缺失晚志留—中泥盆世沉积、呈带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(S_3-D_2),东昆仑、柴达木和祁连已再次拼合为一体并成为中央造山带微板块群的一部分。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”。

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 III₂)。宗务隆山—青海南山裂陷槽(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。海西晚期—印支早期,洋盆依次向北俯冲,在东昆仑南侧形成早—中三叠世的前陆堆积(东昆仑洪水川组),在其北侧的微板块南缘,则有海西—印支期花岗岩的大面积侵入,形成主动陆缘的岩浆弧。北巴颜喀拉(图 1 中的 III₃)是东昆仑造山带南侧的三叠纪被动陆缘,属于特提斯洋的北边缘,于中—晚三叠世向北俯冲闭合。在先形成的柴北缘—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(T_3)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,并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,给柴北缘—东昆仑地区带来了极为丰富的金属矿产资源。

1.2 边界断裂及其大型剪切带

地质和地球物理资料(高锐等,1995;Wittlinger et al., 1998;姜枚等,1999)表明,阿尔金、哇洪山两条深断裂限制了柴北缘—东昆仑造山带西、东两侧的边界,宗务隆山、柴北缘、昆中、昆南、北巴颜喀拉等 NWW-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。

在上述深断裂的旁侧,发育一系列大型剪切带,成为柴北缘—东昆仑地区造山型金矿床的区域导矿或控矿构造。控制矿床和矿体的构造(断裂、褶皱等),则是这些大型剪切带的次级构造。

大量的宏观、微观研究和放射性同位素年龄数据表明,柴北缘、昆中深断裂旁侧的大型剪切带在晚加里东时期显示为右旋逆冲剪切,晚华力西—印支期的再次活动则显示为左旋

斜冲剪切^①;昆南、北巴颜喀拉深断裂旁侧的大型剪切带在晚华力西—印支期显示为左旋逆冲剪切,新生代时期的再次活动则显示为右旋走滑/斜冲剪切。上述大型剪切带的几何学和运动学特点在很大程度上决定着矿床、矿体构造的几何学和运动学特点,对金资源的区域评价至关重要。

2 矿床地质特征

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—东昆仑地区的其他三级构造区带都或多或少地发现有造山型金矿。表1列出了该区具代表性的13处造山型金矿产地的主要地质特征。

2.1 矿床的构造部位及围岩

图1和表1的资料表明,这些造山型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,在北巴颜喀拉构造带的北缘,沿北巴颜喀拉深断裂的南侧,不但存在多个面积大、强度高的水系沉积物Au-Sb-As-Hg组合异常,而且亦已发现了东大滩、西藏大沟、大场等金-锑矿床(点);又如,近年来在柴北构造带中陆续发现的野骆驼泉、千枚岭、红柳沟、青龙沟、滩间山、赛坝沟等金矿床,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)。尽管矿床围岩的原岩是多样的(包括各类沉积岩、火山岩、侵入岩等),时代变化极大(PT~T),但全部属绿片岩相变质岩。虽然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,因此,其直接围岩的变质程度仍是绿片岩相。

2.2 矿田、矿床构造

严格受构造控制是本区造山型金矿非常重要的特点。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、矿化点均分布在三条长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)。

大型剪切带内或大型剪切带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-裂隙系统和与褶皱有关的构造系统。相比之下,前者控制的矿体规模较小、空间上变化较大,后者正好相反。

滩间山、青龙沟、大场金矿床是褶皱控矿的最好例子(崔艳合等,2000)。大场矿区的剪切带内,发育一系列NW向褶皱,这些褶皱由强片理化板岩和强碎裂的砂岩(下三叠统巴颜喀拉群)构成,层理被面理强烈置换,褶皱向NW倾伏。厚大

的透镜状Au(Sb)矿体产在近倾没端的褶皱轴部的断裂-裂隙系统中(图2a)。滩间山金矿区几乎被一条NW向大型剪切带所占据,该剪切带早期(加里东期)显示为右旋逆冲,晚期(晚华力西—印支)为左旋斜冲^①,由炭质千枚岩或糜棱片岩的面理所标定的NNE-SN向褶皱是短轴的、向北倾没的背、向形构造。作为金资源量主体的1号、3号矿体群,全部产于这些褶皱的轴部和翼部的断裂-裂隙系统中,矿体厚大,走向及倾向上较稳定(图2b)。青龙沟矿床中仅一个矿体的金资源量就达十几吨,该矿体产于向NW倾伏的背斜之轴面断裂中(图2c),而背斜则位于NW向的青龙沟—滩间山大型剪切带内。

与剪切带伴生的断裂-裂隙系统是最常见的矿床、矿体控矿构造,野骆驼泉金矿床是一个典型的例子。一条长达30 km的NW向大型剪切带从野骆驼泉矿床南侧2 km处通过(图3a),它是柴北缘深断裂南侧的次级构造(图1),而它北侧的3条近南北向剪切带/断裂带则是该大型剪切带的次级构造(图3a)。这3条构造带显示出右旋逆冲剪切→左旋斜冲剪切→脆性破裂等复杂的变形过程,野骆驼泉地区所有的中-大比例尺水系沉积物金异常,全部扣合在这3条近南北向的构造带上,野骆驼泉金矿床就产于其中的F₂之北段(图3)。该矿床地表已发现的金矿体全部位于剪切带中,并主要受脆性断裂-裂隙系统控制。单个矿体长数十米至200 m,其走向与剪切面理之间呈5°~30°的交角,空间上矿体分段集中、组成斜列式展布的矿体群(图3b)。

2.3 热液蚀变

硅化、黄铁矿化、绢云母化是最常见的热液蚀变,其它如碳酸盐化、绿泥石化等程度不等地发育于不同矿床中。热液蚀变的主要特点是面型,分带不太明显,黄铁绢英岩化与金矿化关系最密切。上述蚀变类型在一个矿床范围内发育程度不等,通常绢云母化和微弱的硅化、碳酸盐化遍及全矿区,矿体中或矿体近侧发育由强硅化、黄铁矿化、绢云母化组成的黄铁绢英岩化。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。总体上,蚀变围岩的带入组分为CO₂、H₂O、S、SiO₂、K及大离子亲石元素。

2.4 矿体

矿体的规模、形态、产状严格受构造控制。与剪切带伴生的断裂-裂隙系统中的矿体,一般呈平行斜列式脉群(图3b),其单个矿体通常规模小(长数米至200 m,宽度变化极大)、形态复杂、产状陡,沿走向和倾向极易尖灭再现或尖灭侧现,多产于由压扭性向张扭性转换的断裂/裂隙部位。产于褶皱中的矿体常呈稳定厚大的透镜体(图2c)或似层状体(图2b),形态较简单,受轴面断裂或劈理控制的矿体产状陡(图2c),受翼部层间滑脱带控制的矿体产状较缓(图2b),其单个矿体的金资源量可高达数吨或十几吨。需要特别指出的是,

① Zhang Dequan, Chill-sup So, Seong-teak Yun, et al. Geologic setting and metallogeny in the North Qaidam orogen, West China.

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 orogenic gold deposits in North Qaidam—East Kunlun region

序号及矿产地	构造		成矿时代	矿石类型	元素组合	矿体	矿床矿物	
	位置	区域构造						
1. 野骆驼泉金矿床	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	晚加里东期(矿化)及印支期(246 Ma)(定型)	破碎带蚀变岩型,偶见含金石英脉	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、绿金石、石英、绢云母、绿泥石、碳酸盐矿物、钠长石等
2. 千枚岭金矿床	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	晚加里东期矿化,晚华力西-印支期定型	破碎带蚀变岩型为主,少量含Au石英脉	Au-As	短而小的矿体,呈斜列式透镜体群,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. 红柳沟金矿床	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	晚加里东期矿化,晚华力西-印支期定型	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. 青龙沟金矿床	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	晚加里东期矿化(409 Ma),晚华力西-印支期定型	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的NW向断裂中,强变形的碳质绢云千枚岩中有多处短小透镜状矿体	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. 滩间山金矿床	柴北带西段	大型NW向韧-脆性剪切带(与青龙沟者同属一条),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	晚加里东期矿化(400 Ma),晚华力西期定型(280 Ma)	破碎带蚀变岩	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(高神)、毒砂、闪锌矿、方铅矿、黄铜矿、斜方辉石、自然金、银金矿、石英、绢云母、绿泥石、铁白云石等
6. 赛坝沟金矿床	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	晚加里东期矿化(422 Ma),印支期(220 Ma)含Au石英脉侵位	石英脉为主,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(S ₁)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

续表 1

序号及矿产地	控矿构造		成矿时代	矿石类型	元素组合	矿体	矿床矿物
	区域构造	矿床构造					
7. 求律特金矿点	欧龙布拉克带东段	NWW向大型剪切带	晚加里东期矿化(?), 晚华力西期定型(?)	破碎带蚀变岩为主, 少量石英脉	Au-As	矿体产于NW向初-脆性剪切带中	黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、自然金、石英、绢云母、绿泥石、绿帘石、斜长石、碳酸盐
8. 五龙沟金矿床	昆中中段	NWW向大型剪切带, 其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	晚加里东期矿化, 印支期定型 (236 Ma)	破碎带蚀变岩型	Au-As-Sb	矿体呈透镜状, 斜列式成群带状分布于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. 小干沟金矿点	昆南带中西段	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	印支期	破碎带蚀变岩为主, 少量石英脉	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. 开荒北金矿床	昆南带中段	发育于三叠纪前陆盆地油页岩(已变质为低绿片岩相)中的NWW向大型剪切带(左旋逆冲剪切)	印支期	石英脉为主, 少量蚀变岩	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-金矿床	北巴颜喀拉带中西段	发育于三叠系复理石/浊流沉积岩系(已变质为低绿片岩相)中的大型NWW-EW向剪切带(左旋逆冲剪切)	印支期	破碎带蚀变岩为主, 石英脉次之	Sb-Au	透镜状矿体, 沿NW向断裂系统斜列式成群成带产出, 变砂岩中的矿体优于变泥质岩中者	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. 西藏大沟金矿点	北巴颜喀拉带中段	发育于三叠系复理石/浊流沉积岩系(变质达低绿片岩相)中的EW-NWW向大型剪切带(左旋逆冲)	印支期	破碎带蚀变岩为主, 少量石英脉	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. 大场金-锡矿床	北巴颜喀拉带东段	发育于三叠系北巴颜喀拉群复理石/浊流沉积岩系(低绿片岩相变质)中的EW-NWW向大型剪切带	印支期 (218 Ma)	破碎带蚀变岩为主, 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裂隙系统构成三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、长石

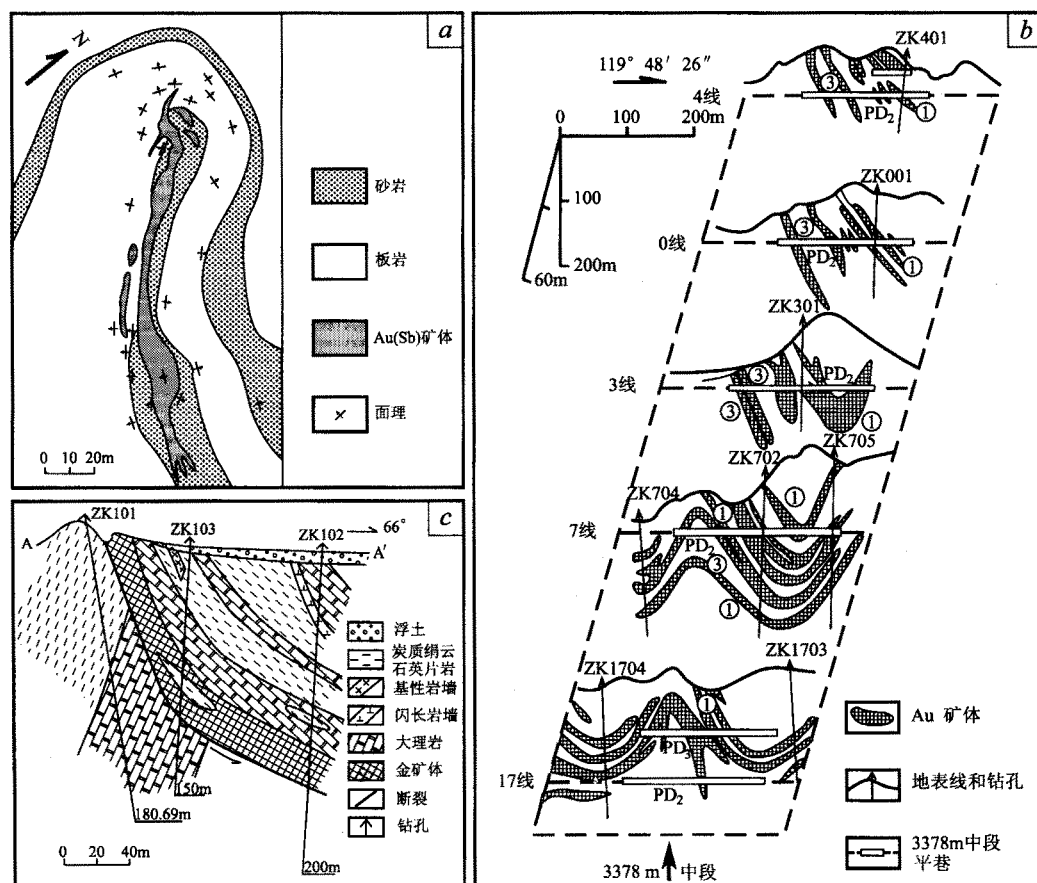


图 2 与褶皱有关的金矿体的构造形态

a—大场金矿床Ⅲ-18金(锑)矿体地质平面图; b—滩间山金矿床①号、③号主矿体4~17线立体地质图(据青海地质一大队资料修编); c—青龙沟金矿床A-A'地质剖面图(据青海地质一大队资料修编)

Fig. 2 Structural features of Au orebodies associated with plunging folds

a—Geological plan of No. III-18 Au(Sb) orebody in the Dachang deposit, showing the existence of the orebody in the axial fault of the plunging anticline; b—Schematic three-dimensional map of the Tanjianshan gold mine, showing the spatial distribution of ① and ③ principal gold orebodies along No. 4 to No. 17 exploration lines; c—A-A' cross section in the Qinglonggou deposit, showing Au orebodies along the axial fault of the chevron and plunging anticline

查明控矿构造样式对造山型金矿的矿体勘查定位是极为重要的,可以减少勘查工作的盲目性。

2.5 矿石及矿床矿物学

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。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。

矿石中金属矿物含量通常在3%~5%之间,主要是黄铁矿,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各构造带的金矿中,辉锑矿仅产于

昆中带以南的各构造带的金矿中,并以北巴颜喀拉构造带中的金矿内最发育。在昆中带以北的金矿中,黄铁矿以高砷为特征,其平均 $w(\text{As}) = 0.89\% \sim 2.48\%$ (于凤池等,1998)。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。

无论石英脉型还是破碎带蚀变岩型矿石,均有含低贱金属Cu、Pb、Zn, $w(\text{Au})/w(\text{Ag})$ 比值高(1~10)的特点。As和Sb的质量分数变化大,总体上,昆中带以北的金矿 $w(\text{As})$ 高、破碎带蚀变岩亚型比石英脉亚型 $w(\text{As})$ 高,昆中带以南的金

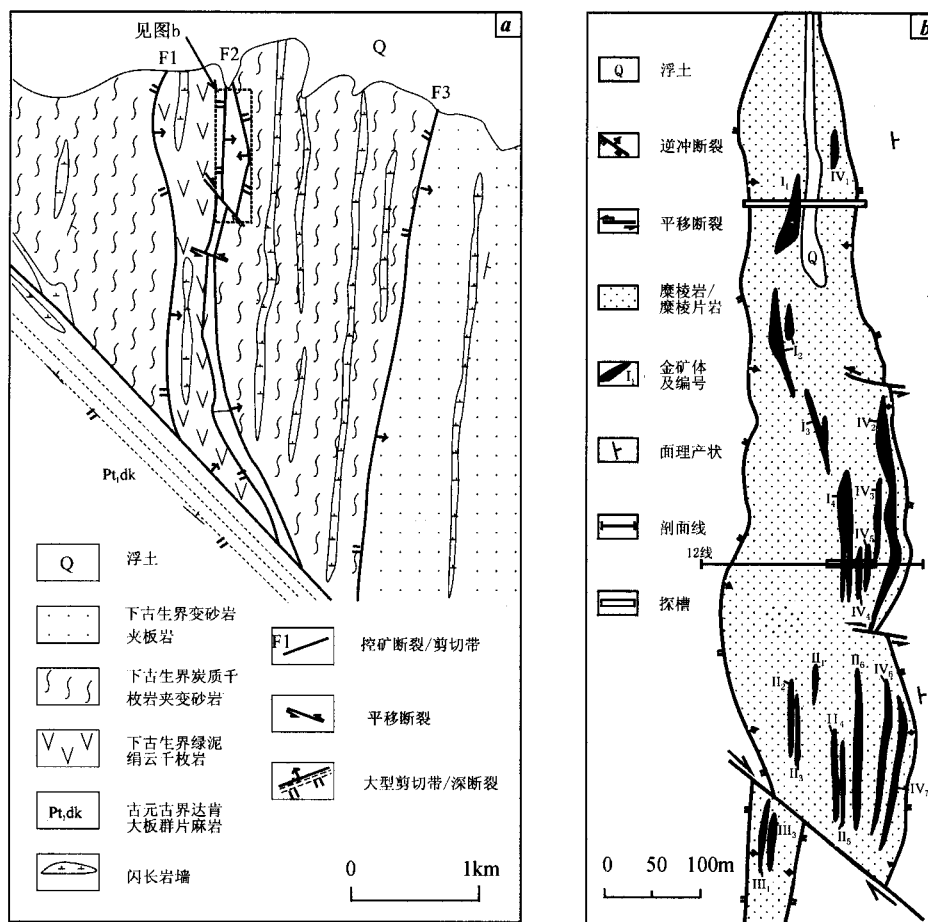


图3 野骆驼泉金矿的矿田-矿床构造(据青海地质二队资料修编)

a—野骆驼泉矿床区域构造略图(图中虚线框出了图b的位置); b—野骆驼泉矿床地质略图

Fig. 3 Schematic map showing ore-controlling structures on regional and deposit scales

a—Regional structure in the Yeluoquan area; b—Structures and gold orebodies in the Yeluoquan gold-deposit

矿 $w(\text{Sb})$ 高。本区自区域北部向南部, 矿床元素组合由 Au-As 向 Au-Sb 转化。据元素组合与成矿深度相的关系 (Groves et al., 1998; 2000), 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。

3 成矿流体

流体包裹体岩相学和显微测温研究证明^①, 柴北缘—东昆仑地区的造山型金矿的成矿流体属于中等温度、低盐度的 $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}-\text{CO}_2 \pm \text{CH}_4 \pm \text{N}_2$ 体系。其晚加里东期成矿流体(成矿流体的时代参见后述)中的含碳流体包裹体富 CO_2 和 CH_4 , 而晚华力西—印支期成矿流体中的含碳流体包裹体以 CO_2 为主, 几乎不含 CH_4 。用 CO_2 流体包裹体估计的流体压力与温度图解(图4)显示: 晚加里东期成矿流体压力高, 成矿

深度大, 可达本区上地壳底部—中地壳顶部; 而晚华力西—印支期成矿流体压力较低(40~180 MPa), 成矿深度较小(估计最大深度在 1.2~5.7 km)。在 $p-t$ 图解上(图4), 随着成矿年龄变小, 流体压力/成矿深度明显减小。

4 成矿年龄

详细的野外和显微镜下观测发现, 控矿构造曾经历过多期次的活动(于凤池等, 1998), 金的成矿主要有两期: 晚加里东期和晚华力西—印支期(崔艳合等, 2000)。金矿石中绢云母的 Ar-Ar 法测年数据(有关数据将另文发表)也证明了这一观测结果。已经获得的成矿年龄数据是: 滩间山金矿 400 Ma 和 296 Ma, 青龙沟金矿 409.4 Ma, 赛坝沟金矿 425.5 Ma 和 200 Ma, 野骆驼泉金矿 246 Ma, 五龙沟金矿 236.5 Ma, 大场金矿 218.6 Ma。这些数据显示该区域金成矿有两组年龄, 其一是晚加里东期, 其二是晚华力西—印支期。区域自北往南,

① Zhang Dequan, Chill-sup So, Seong-teak Yun, et al. Geologic setting and metallogeny in the North Qaidam orogen, West China.

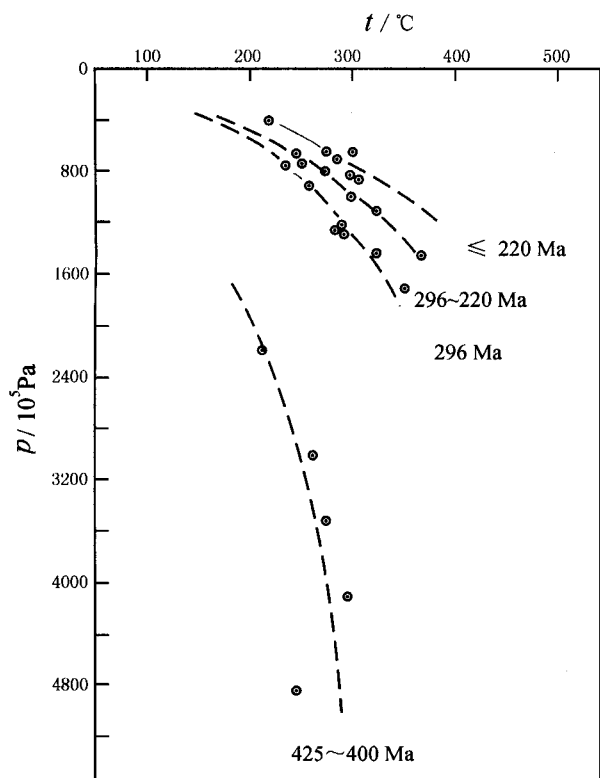


图4 柴北缘—东昆仑地区造山型金矿中含 CO_2 流体包裹体的均一温度-压力图解

Fig. 4 Diagram of homogenization temperature and pressure for CO_2 -bearing fluid inclusions from orogenic gold deposits in the northern margin of Qaidam Basin and East Kunlun Mountains

金成矿时代由老变新。研究还显示,昆中带及其以北的金矿床是晚加里东和晚华力西—印支两期复合成矿,其中加里东期多为矿化,矿体最终定型或侵位是在晚华力西—印支期,北巴颜喀拉带的金矿形成于印支晚期。

5 讨论与结论

5.1 非威尔逊旋回决定了柴北缘—东昆仑造山型金矿床的特点

近年来,关于秦祁昆造山系以及中央造山带的研究,已经取得了一系列的成果(姜春发等,1992;陈炳蔚等,1995;殷鸿福等,1998)。不少学者趋向于这些造山带的板块运动主要遵循的是非威尔逊旋回。像现代大西洋、太平洋那样的大板块、“干净”大洋,通常由裂解→大洋形成→俯冲→对接→造山(面对面相撞)构成一个造山旋回。柴北缘—东昆仑则经历了裂解→多岛洋形成→俯冲→软碰撞→多旋回造山,它以多岛洋、软碰撞和多旋回造山而区别于威尔逊旋回,在显生宙经历了加里东、印支两个旋回的复合造山作用。这里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加里东造山带内产生陆—陆俯冲或碰撞,强烈的抬升最终隆起成山。因此,这里的复合造山作用在时间上持续了200 Ma以上,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。区域南部的阿尼玛卿活动陆缘(P)和北巴颜喀拉被动陆缘(T)可能属于华南板块(陈炳蔚等,1995)。

柴北缘—东昆仑的造山带特点,决定了这里的造山型金矿与环太平洋地区其它显生宙造山型金矿(Goldfarb et al., 1998)有较大的差别。首先,复合造山过程决定了柴北缘—东昆仑地区的造山型金矿的多期次成矿和复合-叠加成矿作用,加里东造山的软碰撞过程只造成无经济价值的矿化,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;其次,造山作用的构造迁移导致全区金成矿自北向南时代变新,在一个三级构造带中亦存在年龄变异,如在柴北带中,晚华力西—印支期成矿时代有从中部分别向西和向东变新、晚加里东期成矿年龄变老的趋势。此外,柴北缘—东昆仑的造山型金矿在矿化样式、矿石类型、元素组合等方面,也与环太平洋地区其它显生宙造山型金矿有一定差别,如前者大多数表现为破碎带蚀变岩型的矿化,即浸染型的全岩矿化,含金石英脉型矿化较少见,而后者主要是含金石英脉。这可能与柴北缘—东昆仑地区多旋回叠加造山过程导致的强烈隆升有关,它使得上部的含金石英脉系统被广泛剥蚀。

5.2 造山型金矿床与造山作用的地球动力学联系

本区造山型金矿有两组成矿年龄:晚加里东期(425.5~400 Ma)和晚华力西—印支期(296~200 Ma)。本区普遍缺失晚志留—中泥盆世沉积、呈带分布的晚加里东造山花岗岩(Rb-Sr等时线年龄为492.4~403.7 Ma)和晚泥盆世磨拉石沉积带,加里东造山大约在490~400 Ma间。与此相比,425.5~400 Ma的成矿年龄大概相当于晚造山阶段。大场金(锦)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(已变质到低绿片岩相),全面缺失中—上三叠统,说明这里的碰撞造山发生在中—晚三叠世。该矿床金矿石中绢云母的Ar-Ar年龄为 218.6 ± 3.2 Ma,表明成矿于造山晚期。因此,造山型金矿的成矿年龄处于造山作用晚期的年龄范围内,显示金成矿主要与造山晚期的地球动力学过程有关。

与世界上其它造山型金矿一样(Hodgson et al., 1993; Groves et al., 2000),柴北缘—东昆仑地区的造山型金矿在空间上严格受三级构造系统的控制,这三级构造系统是:深断裂或碰撞带(第一级)、大型剪切带(第二级)、褶皱和断裂-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(如断裂-裂隙系统中的斜列式脉群,褶皱中的大型透镜体或似层状矿体群等)是造山作用的结果,研究造山作用的运动学、几何学及动力学特点,是进行造山型金矿资源评价的首要任务。

由含 CO_2 流体包裹体近似地估计晚加里东期成矿深度(图4)达15.4~7.3 km,相当于柴北缘—东昆仑地区的中地壳顶部—上地壳底部(高锐等,1995)。这正好说明晚加里东期成矿的确与发生在中地壳顶部—上地壳底部的塑性变形有关。野外观测发现,这一期的塑性变形多为右旋逆冲剪切。晚华力西—印支期成矿深度明显变小,估计最大深度在1.2~5.7 km之间,显然这是该造山旋回强烈隆升的结果。因此估计此次区域最大隆升幅度达14 km。随着成矿深度自北向南的渐趋变小,矿床元素组合也由Au-As过渡到北巴颜喀拉构造带的Au-Sb。图4的数据还表明,晚加里东时期该区具较低的地温梯度(约9.8℃/km),说明剪切生热是该期成矿的主要热源,晚华力西—印支期高达33℃/km的异常地温梯度,显示该期成矿的热源可能与造山花岗岩类的岩浆侵位有一定联系。

已有的研究结果表明造山带中有流体大规模活动的记录(Groves et al., 1998; 2000; Witt et al., 1998; Goldfarb et al., 1998;),这种流体属于低盐度的 $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}-\text{CO}_2 \pm \text{CH}_4 \pm \text{N}_2$ 体系。柴北缘—东昆仑地区的造山型金矿的成矿流体属于中等温度、低盐度的 $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}-\text{CO}_2 \pm \text{CH}_4 \pm \text{N}_2$ 体系。其晚加里东期成矿流体中的含碳流体包裹体高 CO_2 和 CH_4 ,而晚华力西—印支期成矿流体中的含碳流体包裹体以 CO_2 为主,几乎不含 CH_4 。这一差别是 $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}-\text{CO}_2 \pm \text{CH}_4 \pm \text{N}_2$ 体系的不混溶结果,控制不混溶的因素是热动力学条件。与碰撞有关的热事件(包括造山花岗岩侵位)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流体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。流体进入矿床或矿体构造后,由于构造性质转换,物理化学条件亦随之改变,含金流体沉淀,形成金矿体。因此,造山型金矿是造山作用的产物,后者为前者提供了空间、热-动力条件。

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): 98~113.
- 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.
- 高锐,成湘洲,丁谦. 1995. 格尔木—额济纳旗地质断面地球动力学模型初探[J]. 地球物理学报, 38(增刊): 3~14.
- 姜春发,杨经绥,冯秉贵,等. 1992. 昆仑开合构造[A]. 见:地质专报(五)[C], 12号. 北京:地质出版社. 224.
- 姜枚,许志琴,薛光琦,等. 1999. 青海茫崖—新疆若羌地震探测剖面及其深部构造的研究[J]. 地质学报, 73(2): 153~161.
- 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.
- 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,等. 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.
- Goldfarb R J, Phillips G N, 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-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.
- Hodgson C J, Love D A, Hamilton J V. 1993. Giant mesothermal gold deposits: Descriptive characteristics, genetic model and exploration area selection criteria[J]. SEG SP-2 GIANT ORE DEPOSITS, 157~211.
- Kerrick R, 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.
- Sillitoe R H. 1993. Giant and bonanza gold deposits in the epithermal environment: Assessment of potential genetic factors[J]. SEG SP-2 GIANT ORE DEPOSITS, 125~156.
- Witt W K, 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.
- Wittlinger G, Tapponnier P, Poupinet G, et al. 1998. Tomographic evidence for localized lithospheric shear along the Altyn Togh fault[J]. Science, 282: 74~76.

Orogenic Gold Deposits in the North Qaidam and East Kunlun Orogen, West China

Zhang Dequan, Feng Chengyou, Li Daxin, Xu Wenyi, Yan Shenghao,

She Hongquan, Dong Yingjun, Cui Yanhe

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

Key words: orogenic belt, gold deposits, North Qaidam and East Kunlun Mountains

Abstract

The North Qaidam and East Kunlun orogen (NKO), located in northwest Qinghai Province and the northeastern margin of Qinghai-Tibet plateau, is a part of the Qingling-Qilian-Kunlun orogens of West China. Being a multiple orogen, it underwent Caledonian accretionary orogeny and intensive overprinting orogeny from Late Variscan to Early Mesozoic, characterized by archipelagic ocean/aulacogen, soft collision and multicyclicity. Tens of orogenic gold deposits and mineral occurrences were discovered in the NKO, in which thirteen orogenic gold deposits are reviewed in this paper. Occurring near the deep faults and/or collisional belts, they are located at convergent plate margins in accretionary and/or collisional orogeny and controlled by three-order structural systems. Although the wallrocks of these orogenic gold deposits vary in age and petrology, all of them were deformed and metamorphosed into greenschist facies. Their alterations are planar and nonzonal, and exhibit strong silicification, pyritization and sericitization in or near the orebody. The form, occurrence and size of the ore body are controlled by structures. According to ore types, the orogenic deposits in the NKO can be grouped into two subtypes, namely altered rock type in the shattered zone and quartz vein type. As a result of deposition from low-salinity $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}-\text{CO}_2 \pm \text{CH}_4 \pm \text{N}_2$ fluids, both of them are characterized by high Au/Ag ratios, low base-metal content and varied As and Sb content, varying from Au-As in the northern part of the NKO to Au-Sb in the southern part of the NKO. Field observation and Ar-Ar isotope dating show that gold mineralizations have two groups of ages, viz. late Caledonian (425~400 Ma) and late Variscan-Indosinian (296~200 Ma). From north to south, the depths of these orogenic gold deposits changed from the top of the middle crust and the bottom of the upper crust (15.4~7.3km) to the upper crust (5.7~1.2 km).

Subduction-related thermal events and episodically rising geothermal gradients within the hydrated accretionary sequences initiated and drove long-distance hydrothermal fluid migration.

The gold of the orogenic deposits was initially concentrated in shear zones at the lower part of the upper crust during late Caledonian subductional orogeny by the heated $\text{CH}_4-\text{CO}_2-\text{NaCl}-\text{H}_2\text{O}$ fluids, whereas the gold ores were mainly emplaced at the depth of 5.7~1.2 km during the Late Variscan to Early Mesozoic orogeny through the heated $\text{CO}_2-\text{NaCl}-\text{H}_2\text{O}$ fluid mainly by granitic magmatism. An initial subeconomic gold mineralization related to Late Caledonian ductile deformation resulted in the concentration of ore-forming elements in the large-size shear zone, while the structural-hydrothermal-mineralization during the Late Variscan to Early Mesozoic orogeny formed the commercial gold ores.