

柴北缘—东昆仑地区造山型金矿床的 三级控矿构造系统

张德全¹ 王富春² 余宏全¹ 丰成友¹ 李大新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:不同等级体制的构造分别控制了柴北缘—东昆仑地区造山型金矿的区域、矿化集中区以及矿床和矿体的分布和产出。在一个次级大地构造单元或成矿带内, 造山型金矿大多产于构造边界和/或深大断裂旁侧(即造山带构造边界和/或深大断裂是柴北缘—东昆仑地区造山型金矿的第一级控制构造)。发育在上述深断裂旁侧的大型剪切带, 控制了矿化集中区或矿田范围内矿化异常和造山型金矿床的分布和产出, 是柴北缘—东昆仑地区造山型金矿的第二级控制构造。上述大型剪切带派生的褶皱和断裂系统, 是造山型金矿床的第三级控矿构造, 它们控制了矿体的分布和产出, 滩间山、大场金矿床是褶皱控矿的良好例证, 而五龙沟金矿床则是与剪切带伴生的断裂—裂隙系统控矿的典型实例。相比之下, 受控于褶皱的金矿床中矿体规模较大、空间上变化较小。上述造山带构造边界和/或深大断裂、大型剪切带和大型剪切带派生的褶皱和断裂系统主要是区域加里东和晚华力西—印支碰撞造山作用的产物, 它们具有大致相同或互相联系的几何学、运动学和年代学特征, 后者通常是前者的派生、低序次构造。因此, 这 3 个不同级别的构造, 构成了柴北缘—东昆仑地区造山型金矿床的控矿构造系统。

关键词:控矿构造系统; 造山型金矿床; 柴北缘—东昆仑

中图分类号: P618.51 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2007)01-0092-09

受构造控制是造山型金矿床最重要的特征^[1,2]。柴达木盆地北缘(以下简称柴北缘)—东昆仑地区产有多处造山型金矿床, 如滩间山、五龙沟、青龙沟、野骆驼泉、赛坝沟、开荒北、大场等^[3-7]。上述矿床均严格受不同等级体制的构造控制。笔者总结了它们在 3 种不同的尺度范围(大区域尺度、矿化集中区或矿田范围内、矿区范围内)内的控矿构造样式及其相互关系, 提出了不同等级体制下的控矿构造系统。

1 区域控矿构造

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^[8], 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)^[9], 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^[10-14]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。

从柴北缘—东昆仑地区具代表性的 13 处造山型金矿产地所处的构造位置(图 1)可以看出, 这些金矿都集中分布在汇聚板片的边缘、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, 柴北缘造山带中的野骆驼泉、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; 东大滩、西藏大沟和大场金矿位于巴颜喀拉造山带北侧边缘、沿北巴颜喀拉大断裂由西向东依次展布(图 1)。因此, 在一个次级大地构造单元或成矿带内, 金矿的分布受构造边界和/或

收稿日期: 2006-08-04; 改回日期: 2006-10-09

基金项目: 国家自然科学基金项目(40372051)和国家科技攻关计划项目(2003BA612A-07)共同资助。

作者简介: 张德全, 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。

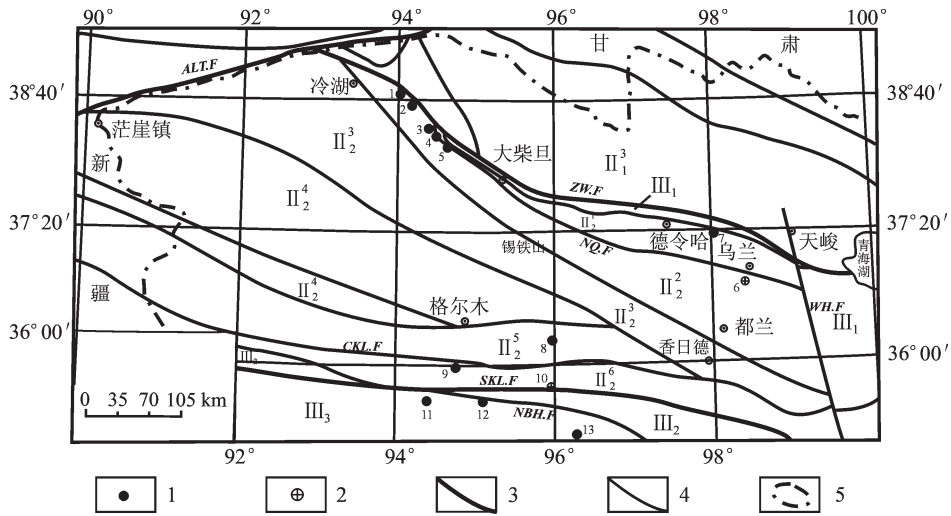


图 1 柴北缘—东昆仑地区构造分区及造山型金矿分布图

1—蚀变岩亚型金矿床;2—石英脉亚型金矿床;3—深大断裂;4—区域断裂;5—省界;构造分区: II³₁—南祁连; II¹₂—欧龙布鲁克; II²₂—柴北缘; II³₂—柴达木; II⁴₂—昆北; II⁵₂—昆中; II⁶₂—昆南; III₁—宗务隆山—青海湖南山; III₂—阿尼玛卿; III₃—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—昆中; SKL.F—昆南; NBH.F—北巴颜喀拉 矿产地序号及名称: 1—野骆驼泉; 2—千枚岭; 3—红柳沟; 4—青龙沟; 5—滩间山; 6—赛坝沟; 7—求律特; 8—五龙沟; 9—小干沟; 10—开荒北; 11—东大滩; 12—西藏大沟; 13—大场

Fig.1 Schematic map showing the tectonic divisions and distribution of orogenic gold deposits in the northern Qaidam margin-East Kunlun region

1—Alteration subtype gold deposit; 2—Quartz vein subtype gold deposit; 3—Deep fault; 4—Regional fault; 5—Provincial borderline;

Tectonic units: II³₁—South Qilian; II¹₂—Oulongbuluk; II²₂—Northern Qaidam margin; II³₂—Qaidam; II⁴₂—North Kunlun; II⁵₂—Central Kunlun; II⁶₂—South Kunlun; III₁—Jun Ul—Qinghai Lake Nanshan; III₂—A'nyemaqên; III₃—North Bayan Har; Deep faults: ALT.F—Altyn Tagh fault; WH.F—Wahongshan fault; ZW.F—Jun Ul fault; NQ.F—Northern Qaidam margin fault; CKL.F—Central Kunlun fault; SKL.F—South Kunlun fault; NBH.F—North Bayan Har fault. Gold deposits: 1—Yelutuotouquan; 2—Qianmeiling; 3—Hongliugou; 4—Qinglonggou; 5—Tanjianshan; 6—Saibagou; 7—Qiulute; 8—Wulonggou; 9—Xiaogangou; 10—Kaihuangbei; 11—Dongdatan; 12—Xizhangdagou; 13—Dachang

深大断裂控制, 即构造边界和/或深大断裂是造山型金矿的一级控制构造。之所以如此, 主要是因为造山晚期由于构造应力驱动, 沿造山带边界和/或深大断裂有大规模的流体活动, 这已经为许多研究所证实^[2,15,16]。

2 矿化集中区或矿田控矿构造

在上述深大断裂的旁侧, 常发育的大型剪切带, 是柴北缘—东昆仑地区矿化集中区或矿田范围内造山型金矿床的导矿或控矿构造, 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(参见后述)。例如, 柴北缘深断裂西段南侧, 有野骆驼泉—千枚岭、青龙沟—滩间山等几条长 20~30 km 的 NWW 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)的产出, 从而构成了野骆驼泉—千枚岭金矿化集中区(包括野骆驼泉、千枚岭两个金矿床和小赛什腾山等几处金矿点和矿化点)和青龙沟—滩间山金矿化集中区(由红柳沟、青龙沟、滩间山金矿床及多处金矿点组成)。

五龙沟地区的大型剪切带不但控制了该区 1:5 万水系沉积物 Au 异常的展布, 而且也控制了该区金及多金属(Cu、

Pb、Zn、Mo)矿床(点)的产出。区域上, 在昆中断裂带的北侧发育 3 条规模较大的 NWW 向剪切带, 自西向东分别为打柴沟剪切带、五龙沟剪切带和黑石山剪切带(图 2, 表 1), 其中, 黑石山剪切带的南东段(在图 2 之外)控制了诺木洪河上游地区的 1:20 万化探 Au—As—Sb—Hg 异常的分布和金矿点的产出, 而五龙沟剪切带和打柴沟剪切带及其旁侧派生的断裂系统, 则是五龙沟地区(金矿化集中区)的控矿构造。

五龙沟剪切带(图 2, 表 1)西北端起于大格勒沟口之三色沟, 向东南经五龙沟、石灰沟、红旗沟, 最终延伸归并到昆中断裂带中, 倾向 NNE, 产状陡倾局部近直立。在五龙沟矿区内, 该剪切带由 2 条强变形带和 2~3 条弱变形带组成, 带内糜棱岩化岩石出露宽 500~1 000 m, 常见形态多样的不对称褶皱、S-C 组构等。野外沿剪切带走向追索发现, 卷入剪切带中的岩石有前寒武纪变质岩和加里东期花岗岩。二叠纪花岗岩侵入体大多穿切该剪切带, 但在大格勒沟口该剪切带又以较窄的宽度和不太强的变形延伸到二叠纪花岗岩内, 结合其他特征可以认定该剪切带可能发生过 2 次重要的活动。根据对该剪切带运动学特征的野外观测, 以及镜下对残斑、云母鱼、多米诺骨牌等显微指向判定, 该剪切带早期为右旋逆

表 1 五龙沟地区 3 条 NW 向韧性剪切带特征

Table 1 Features of three NW-trending ductile shear zones in the Wulonggou area

名称	规模	产状	剪切带特征	控矿作用
黑石山	长度大于 50 km, 宽度 0.5~2 km	走向 NWW, 倾向 NNE, 倾角 80°~90°	发育糜棱岩及糜棱片岩, 常见小型褶皱、旋转碎斑、S-C 组构及同构造石英和碳酸盐脉等, 带内晚期脆性断裂叠加, 旁侧发育多组与该剪切带呈入字型相交的断裂-裂隙带。	其南东段(已在图 2 之外)控制了诺木洪河上游地区的化探 Au-As-Sb-Hg 异常及金矿点分布
五龙沟	长度大于 50 km, 宽度 1km 左右	走向 NWW, 倾向 NNE, 倾角大于 80°	沿剪切带有镁铁-超镁铁岩体和榴闪岩或榴辉岩包体产出, 切割前寒武纪变质岩和晋宁期-加里东期花岗岩类岩体, 局部切割晚华力西花岗岩, 但也见其被晚华力西花岗岩所截, 带内的印支期花岗岩类未变形	五龙沟和打柴沟剪切带的北西段控制了五龙沟地区的 1:5 万化探金异常和金及多金属矿床点的分布和产出(图 2)
打柴沟	长度约 30 km, 宽度小于 500 m	走向 NWW, 倾向 SW, 倾角大于 80°		

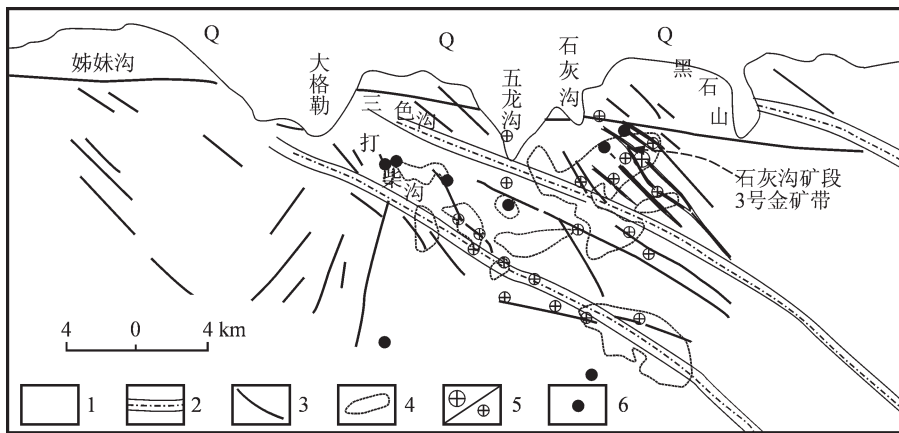


图 2 五龙沟地区地质、构造、化探异常及矿产地分布略图(图中所指的石灰沟矿段 3 号金矿带见图 7)

Q—第四系; 1—前寒武变质岩系及加里东—印支期花岗岩类; 2—大型剪切带; 3—脆性断层;
4—1:5 万化探金异常; 5—金矿床/矿点; 6—多金属矿点

Fig.2 Schematic map showing the geology, structures, geochemical anomalies and mineral occurrences in the Wulonggou area (for the No. 3 gold ore zone of the Shihuigou ore section, marked in the figure, see Fig.7)

Q—Quaternary; 1—Precambrian metamorphic series and Caledonian-Indosinian granitoids; 2—Large shear zone; 3—Brittle fault;
4—Gold geochemical anomalies at a 1:50000 scale; 5—Gold deposit/ occurrence; 6—Polymetallic mineral occurrence

冲剪切, 晚期为左旋斜冲剪切。此外, 根据印支期碱长花岗岩脉(K-Ar 法年龄为 234.7 ± 5.1 Ma) 穿切剪切带早期面理, 但随之该岩脉又发生了左行旋转, 以及五龙沟及东昆仑地区剪切带内水热蚀变矿物(绢云母及黑云母)^① $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 年龄分为 399.4~439.3 Ma 和 216.5~240 Ma 两组^①, 可以判断出早期的右旋逆冲剪切发生于加里东期, 晚期的左旋斜冲剪切形成于印支期, 它们分属于区域加里东碰撞造山和晚华力西—印支碰撞造山的产物。

原青海物化探队通过 1:20 万水系沉积物扫面, 在五龙沟地区圈定了一个面积达 227.5 km² 的 Au 异常(异常编号: As18), 该异常全部扣合在图 2 中的 3 条剪切带上, 异常中心与五龙沟剪切带及其旁侧派生的断裂系统完全吻合。通过对

该异常 1:5 万加密, 将其分解为 9 个子异常(图 2), 这 9 个 1:5 万水系沉积物 Au 异常全部分布在五龙沟、打柴沟剪切带及其旁侧派生的断裂系统中(图 2)。通过异常查证和初步普查, 目前已在五龙沟地区发现中型规模的金矿床 1 处、金矿点约 20 处、多金属(Pb、Zn、Cu)矿点 8 处, 它们全部集中分布在五龙沟和打柴沟剪切带及其旁侧派生的断裂系统中(图 2), 从而构成一个面积约 200 km² 的矿化集中区。

3 矿床和矿体控矿构造

大型剪切带内或大型剪切带旁侧的配套或派生构造, 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和矿体构造, 大体分为两大类, 一是剪切带派生的断裂—

①张德全, 等. 东昆仑地区综合找矿预测与突破(研究报告), 2001.

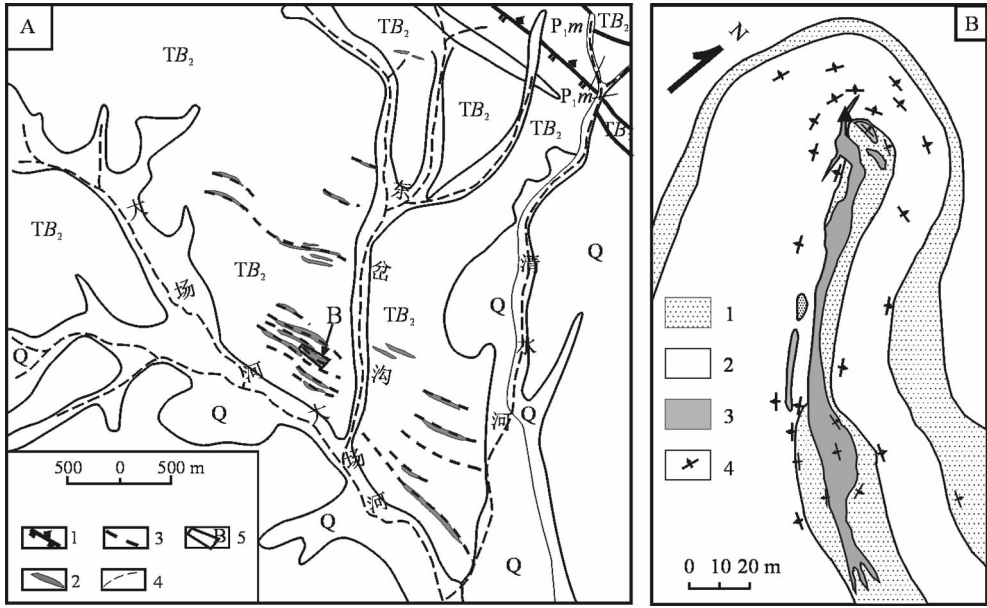


图 3 大场金(锑)矿床控矿构造略图

A 为矿区地质构造略图;1—剪切带;2—金(锑)矿体;3—断裂—裂隙带;4—水系;5—图 B 的位置;Q—第四系;TB₂—三叠系巴颜喀拉山群中亚群砂岩、泥质板岩;P₁m—下二叠统布青山群砂岩、结晶灰岩及中基性火山岩;

B 为 3-18 号矿体控矿褶皱平面图:1—砂岩;2—板岩;3—Au(Sb)矿体;4—面理

Fig.3 Schematic map showing ore-controlling structures in the Dachang gold (antimony) deposit

A: Schematic map showing geology and structure in the ore district: 1—Shear zone; 2—Gold (antimony) orebody; 3—Fault—fissure zone; 4—Drainage system; 5—Location of Fig. B in Fig. A; Q—Quaternary; TB₂—Sandstone and muddy slate in the Middle Subgroup of the Triassic Bayan Har Group; P₁m—Sandstone, crystalline limestone and intermediate—basic volcanic rocks of the Lower Permian Buqinshan Group; B: Geological plan of the No. 3-18 orebody, showing ore-controlling folds: 1—Sandstone; 2—Slate; 3—Gold (antimony) orebody; 4—Foliation

裂隙系统, 二是与剪切带伴生或派生的褶皱及其相关构造系统。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。大场、滩间山、青龙沟金矿床是褶皱控矿的最好的例子, 它们均已达到大型或特大型规模, 而五龙沟和开荒北金矿床则是与剪切带伴生的断裂—裂隙系统控矿的典范。

3.1 大场矿床

大场是正在普查中的金(锑)矿床, 矿区内多条主要由破碎蚀变砂页岩型矿石组成的 NWW 向脉状矿体, 在空间上平行斜列式展布(图 3-A), 构成该矿区 NWW 向矿体群。目前控制的矿体已达特大型规模。产于北巴颜喀拉深断裂又称甘德—玛多深断裂(图 1)。南侧的大型剪切带从该矿区东北侧通过(图 3), 从区域上控制了大场地区金矿床(点)及其相关化探异常的展布, 而大场矿床中的矿体, 则主要受该剪切带旁侧派生褶皱的轴面断裂裂隙系统控制。

在该剪切带西南侧的大场矿区的, 发育一系列不对称的 NW 向紧闭倾伏褶皱, 这些褶皱由强片理化板岩和强碎裂的砂岩构成, 层理被面理强烈置换, 两翼通常不对称。由于矿区地表露头差, 大部分褶皱的详情不清楚, 故很难通过地表填图将这些褶皱表示在图 3 中。3~18 号矿体浅部厚而富, 被露

天开采过, 对该采场进行 1:100 地质编录后的矿体地质平面图缩减为图 3-B, 该图显示了一个完整的不对称倾伏背斜(图 4)。背斜核部为砂岩, 两翼由互层的三叠系页岩和砂岩组成。背斜轴面呈波状, 走向 NW, 与矿区东北侧的剪切带有 5°~10°的交角, 向 SW 陡倾。SW 翼较宽缓、面理倾向 SW, NE 翼紧闭、面理向 NE 陡倾斜, 向 SE 方向不远, NE 翼面理走向逐渐拐向 N 和 NW, 从而形成另一个褶皱(向斜)构造。该背斜两翼向 SE 方向撒开、向 NW 方向收敛, 枢纽向 NW 倾伏、倾伏角在 10°~25°变化。在该背斜轴部的砂岩中发育一组宽达 10 m 向 SW 倾斜的断裂裂隙带, 带内岩石破碎且含金(图 3-B、图 4-A)。这一断裂裂隙带沿背斜轴部呈舒缓波状、NW-SE 走向延长大于 500 m (图 3-A), 控制了 18 号 Au(Sb)矿体的空间展布和品位厚度变化。大场矿区内发育许多 NW 向断裂裂隙带, 它们均沿褶皱的轴面分布, 走向和倾向上呈舒缓波状, 单条断裂裂隙带长 100~500 m, 在走向上几条断裂裂隙带可以断续相连成 1~2 km 长的带。平面和剖面上这些断裂裂隙带之间平行斜列, 在矿区构成了向 NW 方向收敛、向 SE 方向撒开的控矿构造阵列(图 3-A)。Au(Sb)矿体呈脉状产于上述断裂裂隙带中, 其中厚大的透镜状矿体, 通常

①Zhang et al. Geology and fluid inclusion of the Tanjianshan gold deposit in orogen of West China: Multiple orogenic processes and multiple gold mineralizations(In press),2006.

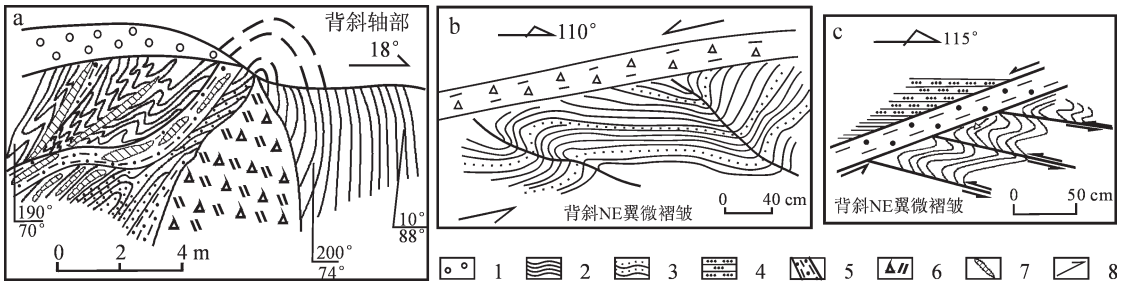


图4 3~18号矿体控矿背斜素描图

1—碎石堆;2—泥质板岩;3—粉砂质板岩;4—砂岩;5—构造破碎带;6—含金破碎带/矿体;7—石英脉/石香肠;8—运动方向

Fig.4 Sketch of the ore-controlling anticline of the No. 3-18 orebody

1-Detritus pile;2-Argillaceous slate;3-Silty slate;4-Sandstone;5- Fracture zone;6- Auriferous fracture zone/ orebody; 7-Quartz vein/boudin;8- Slip direction

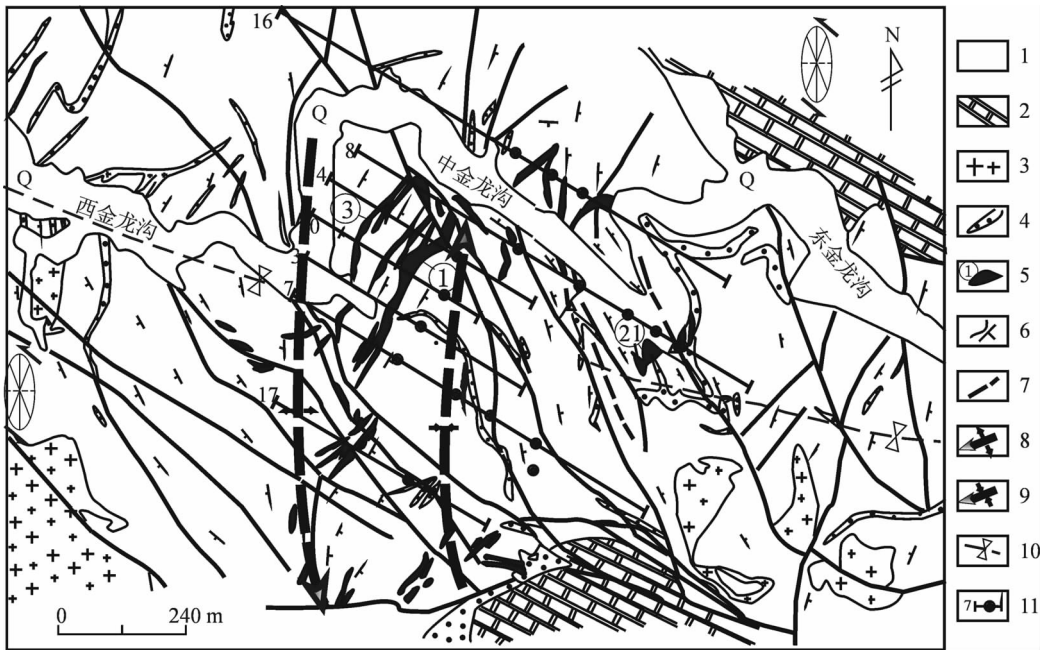


图5 滩间山金矿区地质构造略图

Q—浮土;1—炭质糜棱片岩;2—大理岩;3—滩间山奥长花岗岩斑岩体;4—岩墙;5—矿体及其编号;6—地质界线/面理产状;7—断裂; 8—背斜轴;9—向斜轴;10—早期褶皱;11—勘探线及钻孔;图内应变椭圆表示左行旋转导致S-N向褶皱的形成

Fig.5 Schematic map showing geology and structure of the Tanjianshan gold district

Q-Quaternary alluvium;1-Carbonaceous mylonitic schist;2-Marble;3-Tanjianshan trondhjemite porphyry;4-Dike; 5-Orebody and its number;6-Geological boundary and attitude of foliation;7-Fault; 8- Anticlinal axis;9-Synclinal axis;10-Early fold; 11-Drill hole and exploration line. The strain ellipses show the formation of the N-S-trending folds by sinistral rotation

产在断裂-裂隙带发生弧形弯曲的部位和近倾没端的褶皱轴部的断裂-裂隙带中(图3-A、3-B、图4-A)。

上述断裂裂隙带是与褶皱配套的构造,其主要是在褶皱形成的后期和褶皱形成后区域应力继续作用的结果。这不但是因为这些断裂裂隙带大多产于褶皱轴部,并与褶皱轴面有相同的几何学特点,而且二者通常有相同的运动学特点。笔者在野外发现,矿区东北侧大型剪切带的性质以左旋逆冲为主,而控制3~8号矿体的背斜NE翼出现的微褶皱之不对称

性(图4-B、图4-C)也分别显示褶皱和断裂裂隙带左旋(逆时针方向)的运动学特点。因此,大场矿区的NW向褶皱是由于上述大型剪切带SW盘向NE下冲并左旋滑动的派生产物,而产于NW向褶皱轴部的NW向断裂裂隙带,则是其在NW向褶皱形成后期和形成后进一步下冲并左旋滑动的派生产物。

3.2 滩间山矿床

滩间山金矿床位于柴达木盆地北缘的欧龙布鲁克地块和

柴北缘造山带的构造边界上(图 1),目前控制的规模已达大型,该矿床中的矿体大多受控于大型剪切带中的褶皱构造。

多期剪切和多期褶皱作用同时发生,从而形成了滩间山矿区复杂的构造图像(图 5)。矿区的 NW 向剪切带十分发育,它们是区域上 NW 向大型剪切构造带的一部分。现已确认,该剪切带长约 20 km、宽 1~2 km,NW 走向(近 340°)、陡倾斜,在晚加里东碰撞造山时期为右旋逆冲剪切,在晚古生代—早中生代造山时期为左旋走滑。区域上,该大型剪切带由一系列相互平行的北西向次级剪切带组成,与地层(早古生代滩间山群和中元古代万洞沟群)呈小角度斜交。该 NW 向剪切带在滩间山矿区内宽约 1 km,主要发育在中元古代(万洞沟群)炭质石英绢云片岩(现已成为糜棱片岩)中,部分在大理岩中(图 5)。糜棱岩化、由相对较大的石英、堇青石、炭质球粒和黄铁矿组成的多次旋转过度的碎斑、S-C 组构等,在 1 km 宽的剪切带内大多数岩石中都常见。由钻孔编录资料揭示的早期向斜构造(核部为炭质糜棱片岩,翼部为大理岩,图 5)的轴面走向为 NNW 向(约 280°),向 NNE 陡倾,该轴面产状可以近似代表早期脆韧性变形时期面理的大致方向。向斜的南西翼被滩间山奥长花岗斑岩(全岩 Rb-Sr 等时线年龄为 330.03±24.3 Ma,全岩 K-Ar 年龄为 309.87±4.77 Ma)体侵入,结合区域构造发展史,说明 NNW 向褶皱和 NW 向剪切形成于晚加里东期。矿区东金龙沟条带状大理岩中的非对称性次级褶皱说明早期脆韧性变形为右旋逆冲,矿区内糜棱片岩中的堇青石旋转碎斑的非对称性也显示早期变形为右旋剪切。

在滩间山矿区宽约 1 km 的 NW 向剪切带内,发育近南北向褶皱。这些褶皱全部出现在炭质糜棱片岩中,而且控制着矿区主要的金矿体。详细的地表、坑道和钻孔填图结果表明,该矿区至少可以鉴别出 2 个近南北向的背、向斜,它们分别称为西褶皱和东褶皱(图 5)。褶皱的平面形态呈鼻状,在 NW 向剪切带内的晚华力西期岩墙(全岩 K-Ar 年龄为 309±4.8 Ma)也被卷入南北向褶皱。西褶皱为一背斜构造(亦可称之为背形构造),其面理产状是逐渐变化的:在西金龙沟南侧的背斜西翼为 320°(走向,下同)/50°(倾角,下同)倾向 SW,该产状与区域面理产状接近,靠近褶皱轴部为 350°~360°/80°~88°倾向 SWW,东翼(在中金龙沟南西侧)为 20°/60°~90°倾向 SE(图 5)。东褶皱为一向斜构造(亦可称之为向形构造),其西翼的 NE 部位(即西褶皱的东翼)面理从 20°/60°~80°倾向 SE,到了近轴部的中金龙沟北侧逐渐变为 0°~10°/70°~80°倾向 S,从而形成向斜的“鼻尖”(图 5),在该“鼻尖”部位,南北向线理很发育。东部褶皱向南东,面理方向的反复变化,显示可能有另一个褶皱存在(图 5)。通过详细的面理测量和投影,获得西褶皱的轴面及枢纽产状分别为 95°(倾向,下同)∠80°(倾角,下同)和 175°∠44°,东褶皱的轴面及枢纽产状分别为 98°∠65°和 135°∠55°。钻孔及平巷资料进一步显示东褶皱的轴面倾伏方向在地表及浅部向东倾,至深部逐渐变

为向西倾(图 6)。从矿体的水平和垂直形态上的变化可以看出,东褶皱的枢纽方位也是变化的(图 6)。根据穿切南北向褶皱之石英闪长玢岩的全岩 Rb-Sr 等时线年龄(133.8±4.7 Ma)和卷入褶皱中的晚华力西期岩墙的全岩 K-Ar 年龄(309±4.8 Ma),并结合区域构造演化史,可以认为南北向褶皱形成于晚华力西期。

南北向褶皱轴的方位与区域面理方位(NNW)相交的锐角指向,指示这个时期北西向剪切带为左旋剪切,左旋剪切与位于矿区深部的刚性块体(奥长花岗斑岩)相结合,导致

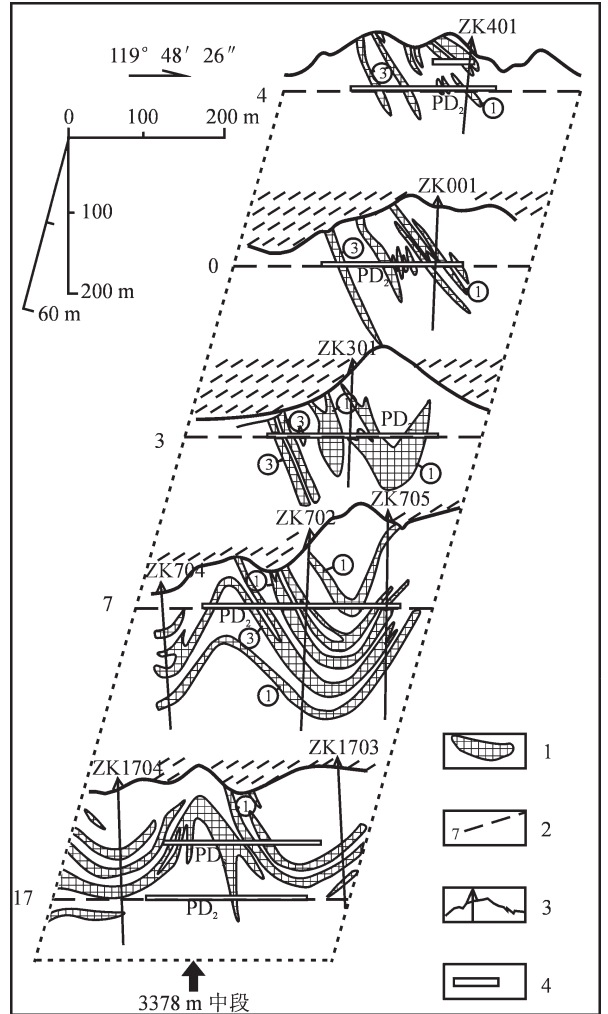


图 6 滩间山金矿床 4 至 17 勘探线①号和③号矿体 3 维空间分布略图(据青海第一地质大队资料编制)
1—金矿体;2—勘探线及其编号;3—地表及钻孔;4—平硐
Fig.6 Schematic three-dimensional map, showing the spatial distribution of No. 1 and No. 2 gold orebodies from exploration lines 4 to 17 in the Tanjianshan gold deposit (compiled from No. 1 Geological Party, Qinghai Province)
1—Auorebody;2—Exploration line with serial number;
3—Earth's surface and drill hole;4—Drift

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

了南北向褶皱的形成。因此, 濉间山矿区内控矿的南北向褶皱是 NW 向大型剪切带在晚华力西期左旋走滑的结果。

濉间山金矿共圈定金矿体 27 个, 它们全部由蚀变糜棱片岩型金矿石组成。其中 10 个矿体为 NNE 向, 矿体呈鞍状、似层状和透镜状, 沿东、西褶皱翼部平行排列的层间滑脱带分布, 形成该矿床的主要金矿化带。

①号和③号金矿体为矿床的主要金矿体, 二者特征相似。①号金矿体由 2~5 个近于平行、既有分支、又有复合的单个金矿体组成。在 3378 m 中段, 控制较好的金矿体平面形态呈透镜状, 矿体长达 450 m, 平均厚度 18.48 m, Au 平均品位 6.77 g/t, 已知矿体向下最大延深 340 m (图 6 中 7 线,)。褶皱鞍部矿体厚大 (图 6 中 3 线、17 线等), 且矿体呈鞍状, 似层状矿体沿褶皱翼部的层间滑脱带平行分布 (图 5~6)。

3.3 五龙沟金矿床

昆中断裂北侧的 NW 向大型剪切带控制了五龙沟矿化集中区的金化探异常和金-多金属矿产地的分布 (见前述), 而 NW 向大型剪切带旁侧派生的脆性断裂, 则完全控制了该区矿床和矿点中矿体的产出和分布。五龙沟金矿床是该区内目前已达中型规模的一个金矿床, 石灰沟矿段的 3 号金矿带 (矿体群) 是该矿床中最主要的矿带之一, 目前勘查工作程度最高。解剖该矿带的地质构造, 对于了解五龙沟矿床中矿体的控矿构造是十分有益的。

石灰沟矿段发育一组 NW 向断裂带, 其走向 340° 左右, 倾向 NE, 倾角 $40\sim 75^{\circ}$, 长大于 3 km, 宽 5~40 m, 在走向和倾向上膨胀明显, 呈舒缓波状延伸^[7], 向 SE 方向汇入到五龙沟剪切带中 (图 2), 走向上与五龙沟 NW 向大型剪切带之间有 20° 左右的夹角。断裂中构造岩石片理、千糜理、揉皱十分发育, 糜棱岩、断层泥、构造角砾岩块、碎裂等极为明显, 绢云

母化、硅化、黄铁矿化等蚀变强烈, 地表呈黄钾铁矾显露。NW 向断裂带早期显示为逆冲, 成矿期为张扭 (左旋) 性质。矿段内一组 NEE 向左旋走滑断裂切错了 NW 向断裂带 (图 7), 该组 NEE 向左旋走滑断裂是成矿后的构造, 也是上述成矿期左旋滑动应力场持续活动的结果。

金矿体由蚀变 (硅化、绢云母化和黄铁矿化) 构造岩型矿石组成, 矿体呈脉状、透镜状和条带状, 产于 NW 向断裂破碎带内。矿体严格受断裂控制, 其产状与 NW 向断裂产状完全一致。矿体的规模、产状和品位变化较大, 并主要受断裂破碎带控制。单个矿体长 16~560 m, 平均厚 0.43~4.4 m, 平均品位 1.02~13.42 g/t。多个矿体沿 NW 向断裂带断续分布, 构成一个矿体群 (图 7 中 3 号金矿带)。蚀变和矿化的强弱与断裂破碎带的形态 (几何学特征)、发育的规模和强度密切相关。在断裂走向和倾斜方向上, 凡是弧形弯曲部位, 破碎带均明显膨大, 而硅化、绢云母化、黄铁矿化、毒砂化等尤为强烈, 该部位的内外侧金矿化厚度和品位相应地增大、增高, 从而形成厚大的透镜状矿体 (图 7)。

根据五龙沟金矿石灰沟矿段 3 号金矿带控矿的 NW 向断裂的几何学和运动学特点, 并结合五龙沟剪切带的运动学和几何学特点 (参见前述), 可以认为前者是后者的派生构造, 即控制矿体的 NW 向断裂是区域上的 NNW 向大型剪切带于印支期左旋斜冲剪切派生的脆性构造。五龙沟金矿精确的成矿年龄数据^[8]也指示该矿床中控矿的 NW 向剪切带的张扭 (左旋) 性活动发生在印支期。

4 结论

总的来看, 不同等级体制的构造控制了柴北缘—东昆仑地区造山型金矿的区域分布和矿化集中区以及矿床、矿体的分布和产出。在一个次级大地构造单元或成矿带内, 造山型金矿大多产于构造边界和/或深大断裂旁侧, 即造山带构造边界和/或深大断裂是柴北缘—东昆仑地区造山型金矿的第一级控制构造。发育在上述深大断裂旁侧的大型剪切带, 控制了矿化集中区或矿田范围内金化探异常和造山型金矿床的分布和产出, 是柴北缘—东昆仑地区造山型金矿的第二级控制构造。上述大型剪切带派生的褶皱和断裂系统, 是造山型金矿床的第三级控矿构造, 它们控制了矿体的分布和产出。相比之下, 受控于褶皱的金矿床中矿体规模较大、空间上变化较小。濉间山、大场金矿床是褶皱控矿的最好典型实例, 而五龙沟金矿床则是与剪切带伴生的断裂—裂隙系统控矿的典范。

上述造山带构造边界和/或深大断裂、大型剪切带和大型剪切带派生的褶皱和断裂系统主要是区域加里东和晚华力西—印支碰撞造山作用的产物, 它们具有大致相同或互相联系的几何学、运动学和年代学特征, 后者通常是前者的派生、低序次构造。因此, 造山带构造边界和/或深大断裂、大型剪切带、大型剪切带派生的褶皱和断裂系统, 构成了柴北缘—东昆仑地区造山型金矿床的 3 级控矿构造系统。

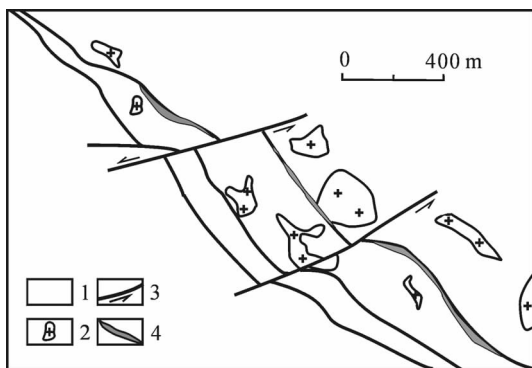


图 7 五龙沟金矿石灰沟矿段 3 号金矿带地质构造略图 (该矿带在区域构造中的位置见图 2)

1—前寒武纪变质岩; 2—花岗岩类侵入体; 3—断裂; 4—金矿体

Fig.7 Schematic map showing the geology and structure of gold ore zone No. 3 in the Shihuigou ore section of the Wulonggou gold district (for the location of the gold ore zone in the regional structure, see Fig.2)

1—Precambrian metamorphic rocks; 2—Granitoids; 3—Fault (the movement direction shown by arrowhead); 4—Gold orebody

参考文献 (References):

- [1] Groves D I, Goldfarb R J, Gebre-Mariam M, et al. Orogenic gold deposits: A proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types [J]. *Ore Geol. Rev.*, 1998, 13(1-5): 7-27.
- [2] Groves D I, Goldfarb R J, Knox-Robinson C M, et al. 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.*, 2000, 17(1-2): 1-38.
- [3] 于凤池, 马国良, 魏刚锋. 青海滩间山金矿床地质特征和控矿因素分析 [J]. *矿床地质*, 1998, 17(1): 47-56.
- Yu Fengchi, Ma Guoliang, Wei Gangfeng. Geological characteristics and ore-controlling factors of the Tanjianshan gold deposit, Qinghai Province [J]. *Mineral Deposits*, 1998, 17(1): 47-56 (in Chinese with English abstract).
- [4] 李厚民, 沈远超, 胡正国, 等. 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*, 2001, 37(1): 65-69.
- Li Houmin, Shen Yuanchao, Hu Zhengguo, et al. Minerogenetic mechanism and condition of Wulonggou gold deposit in East Kunlun Montais, Qinghai Province [J]. *Geology and Prospecting*, 2001, 37(1): 45-52 (in Chinese with English abstract).
- [5] 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 Daxin, 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).
- [6] 丰成友, 张德全, 李大新. 青海赛坝沟金矿地质特征及成矿时代 [J]. *矿床地质*, 2002, 21(1): 45-52.
- Feng Chengyou, Zhang Dequang, Li Daxin. Geological characteristics and ore-forming age of Saibagou gold deposit, Qinghai Province [J]. *Mineral Deposits*, 2002, 21(1): 45-52 (in Chinese with English abstract).
- [7] 丰成友, 张德全, 余宏全. 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*, 2002, 21(增刊): 582-585.
- Feng Chengyou, Zhang Dequang, She Hongquan. Structural evolution and ore-controlling importance of ductile shear zone: structural control of the Yeluotuoquan gold deposit, Qinghai Province [J]. *Mineral Deposits*, 2002, 21 (Supp): 582-585 (in Chinese with English abstract).
- [8] 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).
- [9] 闫臻, 胡正国, 刘继庆, 等. 东昆仑开荒北金矿床地质特征及控矿条件 [J]. *西安工程学院学报*, 2000, 22 (1): 23-27.
- Yan Zhen, Hu Zhengguo, Liu Jiqing, et al. Geological characteristics and ore-control factors of Kaihuangbei gold deposit in East Kunlun Mountain [J]. *Journal of Xi'an Engineering University*, 2000, 22 (1): 23-27 (in Chinese with English abstract).
- [10] 殷鸿福, 张克信. 中央造山带的演化及其特点 [J]. *地球科学—中国地质大学学报*, 1998, 23(5): 437-442.
- Yin Hongfu, Zhang Kexin. Evolution and characteristics of the central orogenic belt [J]. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 1998, 23(5): 437-442 (in Chinese with English abstract).
- [11] 陈炳蔚, 王彦斌, 左国朝. 青藏高原北部地体划分及其构造演化 [J]. *地球物理学报*, 1995, 38(增刊 II): 98-113.
- Chen Bingwei, Wang Yanbin, Zuo Guochao. Terrain subdivision of the northern Qinghai-Xizang (Tibet) plateau and its tectonic evolution [J]. *Acta Geophysica Sinica*, 1995, 38 (Supp. II): 98-113 (in Chinese with English abstract).
- [12] 崔作舟, 李秋生, 吴朝东, 等. 格尔木—额济纳旗地质断面的地壳结构与深部构造 [J]. *地球物理学报*, 1995, 38(增刊 II): 15-28.
- Cui Zouzhou, Li Qiusheng, Wu Chaodong, et al. The crustal and deep structures in Golmud-Ejin Qi GGT [J]. *Acta Geophysica Sinica*, 1995, 38 (Supp. II): 15-28 (in Chinese with English abstract).
- [13] 高锐, 成湘洲, 丁谦. 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*, 1995, 38(增刊 II): 3-14.
- Gao Rui, Cheng Xiangzhou, Ding Qian. Preliminary geodynamic model of Dolmud-Ejin Qi geoscience transect [J]. *Acta Geophysica Sinica*, 1995, 38 (Supp. II): 3-14 (in Chinese with English abstract).
- [14] Wittlinger G, Tapponnier P, Poupinet G, et al. Tomographic evidence for localized lithospheric shear along the Altyn Togh fault [J]. *Science*, 1998, 282: 74-76.
- [15] Ridley J R. The relations between mean rock stress and fluid flow in the crust: with reference to vein-and lode-style deposits [J]. *Ore Geol. Rev.* 1993, 8: 23-37.
- [16] Miller L D, Goldfarb R J, Gehrels G E, et al. Genetic links among fluid cycling, vein formation, regional deformation, and plutonism in the Juneau gold belt, southeastern Alaska [J]. *Geology*, 1994, 22: 203-206.
- [17] 石金友. 青海省都兰县五龙沟金矿成矿地质特征及找矿标志 [J]. *前寒武纪研究进展*, 1997, 20(2): 29-36.
- Shi Jinyou. Geological features and prospecting criteria of Wulonggou gold deposit of Dulan County, Qinhai Province [J]. *Progress in Precambrian Reseach*, 1997, 20 (2): 29-36 (in Chinese with English abstract).

Three-order ore-controlling structural system of orogenic gold deposits in the northern Qaidam margin-East Kunlun region

ZHANG De-quan¹, WANG Fu-chun², SHE Hong-quan¹, FENG Cheng-you¹,
LI Da-xin¹, LI Jin-wen¹

(1. *Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China;*
2. *Qinghai Institute of Geological Survey, Xining 810012, Qinghai, China*)

Abstract: The regional distribution and occurrence and distribution of mineralization concentration areas, ore deposits and orebodies of orogenic gold deposits in the northern Qaidam margin-East Kunlun region were controlled by structures of different orders. In a second-order tectonic unit and/or metallogenic zone, orogenic deposits mostly occur near the tectonic boundary and/or a deep fault, i.e. the tectonic boundary of an orogen and/or a deep fault is the first-order ore-controlling structure of orogenic gold deposits in the northern Qaidam margin-East Kunlun region. Gold geochemical anomalies and orogenic gold deposits in a mineralization concentration area or an ore field are controlled by a large-scale shear zone developed at the side of a deep fault mentioned above, which is the second-order ore-controlling structure of orogenic gold deposits in the northern Qaidam margin-East Kunlun region. Folds and fault systems derived from the above-mentioned large-scale shear zone are the third-order ore-controlling structure of orogenic gold deposits in the region, which control the occurrence and distribution of orebodies in ore deposits. The Tanjianshan gold deposit and Dachang gold deposit are typical examples for fold controls on mineralization, while the Wulonggou gold deposit is a typical example of controls of mineralization by the fault-fissure system association with the shear zone. In contrast with those gold deposits under control of the fault system, the orebodies in gold deposits controlled by folds are larger in size and less variable in space. The tectonic boundaries of orogens and/or deep faults, large-scale shear zones and folds and fault systems derived from the above-mentioned large-scale shear zones mainly resulted from the regional Caledonian and late Variscan-Indosinian collisional orogeny, and they have about the same or interrelated geometry, kinematics and geochronology, of which the latter are commonly structures of lower order derived from the former. Therefore, the three structures of different orders form an ore-controlling structural system of orogenic gold deposits in the northern Qaidam margin-East Kunlun region.

Key words: ore-controlling structural system; orogenic gold deposits; northern Qaidam margin-East Kunlun

About the first author: ZHANG De-quan, male, born in 1946, senior researcher and director of doctor students, engages in the study of mineral deposit geology and geochemistry; E-mail: dequanzhang@sohu.com.