

DOI: 10.12090/j.issn.1006-6616.2019.25.S1.006

# 新疆北山地区三架山韧性剪切带构造变形特征及控矿意义

郑加行, 赵同阳, 韩琼, 孙耀锋, 曹江宇, 陈晔

(新疆维吾尔自治区地质调查院, 新疆 乌鲁木齐 830000)

**摘要:**为进一步查明北山造山带北缘三架山韧性剪切带的构造运动学特征及控矿意义,在充分收集前人工作成果的基础上,通过开展系统的野外地质调查工作,基本查明了韧性剪切构造带的空间分布、物质组成、力学性质,在充分分析研究典型构造现象的宏观及显微构造变形特征基础上结合韧性剪切带内卷入地层变质特征和剪切带内岩石组合特征,认为三架山韧性剪切带属中浅部构造相,总体上反应出逆冲—左行走滑的特征。结合带内已发现的产于前寒武系变质基底的铅锌矿和韧性剪切带内的金矿赋矿特征,认为该韧性剪切带对前寒武系变质结晶基底的活化、古生代火山—沉积盖层的改造起到了至关重要的作用,具有明显的导矿、控矿作用。

**关键词:**韧性剪切带;构造变形特征;构造相;北山造山带

**中图分类号:** P613

**文献标识码:** A

## TECTONIC DEFORMATION CHARACTERISTICS AND ORE-CONTROL SIGNIFICANCE OF THE SANJIASHAN DUCTILE SHEAR ZONE IN BEISHAN OROGENIC BELT, XINJIANG

ZHENG Jiaxing, ZHAO Tongyang, HAN Qiong, SUN Yaofeng, CAO Jiangyu, CHEN Ye

(Geological Survey Institute of Xinjiang, Urumqi 830000, Xinjiang, China)

**Abstract:** To further investigate the tectonic movement and ore-controlling significance of the Sanjiashan ductile shear zone on the northern margin of the Beishan orogenic belt, on the basis of fully collecting the results of previous work, through carrying out the systematic field geological surveys, the spatial distribution, material composition and mechanical properties of the ductile shear zone are basically identified. After the analysis of the macroscopic and microstructural deformation characteristics of the typical tectonic phenomena, combined with the metamorphic characteristics and shearing of the stratigraphic shear zone, the characteristics of the in-band rock combination, it is considered that the Sanjiashan ductile shear zone belongs to the middle—shallow tectonic facies and generally reflects the characteristics of thrust—left—slip. Combined with the gold deposits in the lead-zinc deposits and ductile shear zones of the Precambrian metamorphic basement discovered in the belt, it is believed that the

**基金项目:**新疆区域地质调查片区总结与服务产品开发 (DD18-060);新疆哈密市盐池南—三架山一带 1:5万矿产地质调查 (T17-1-XJ03)

**作者简介:**郑加行 (1987-),男,工程师,从事区域地质矿产调查。E-mail: 876982303@qq.com

**引用格式:**郑加行,赵同阳,韩琼,等.新疆北山地区三架山韧性剪切带构造变形特征及控矿意义 [J].地质力学学报,2019,25(S1):032-038 DOI:10.12090/j.issn.1006-6616.2019.25.S1.006

ZHENG Jiaxing, ZHAO Tongyang, HAN Qiong, et al. Tectonic deformation characteristics and ore-control significance of the Sanjiashan ductile shear zone in Beishan orogenic belt, Xinjiang [J]. Journal of Geomechanics, 2019, 25 (S1): 032-038 DOI: 10.12090/j.issn.1006-6616.2019.25.S1.006

ductile shear zone plays an important role in the activation of the Precambrian metamorphic crystalline basement and the transformation of the Paleozoic volcano-sedimentary caprock, with obvious guiding and ore-controlling effects.

**Key words:** ductile shear zone; tectonic deformation characteristics; tectofacies; Beishan orogenic belt

北山地区位于中亚造山带南缘, 地处华北板块、塔里木板块和哈萨克斯坦板块交汇带, 衔接了南天山缝合带和索伦缝合带, 在其漫长的地质构造演化历程中, 经历了多期次、多阶段的板块裂解—俯冲—碰撞—拼合的复杂地质演化过程, 具多旋回复合造山的特点<sup>[1-3]</sup>。不少学者对北山地区进行了大量研究工作, 取得了一系列重要认识<sup>[4-8]</sup>。左国朝等<sup>[9]</sup>最早发现北山地区的韧性剪切带, 并进行初步研究和分带。该地区韧性剪切带是塔里木—中朝板块与哈萨克斯坦板块碰撞聚合过程中深层次变形构造<sup>[10]</sup>, 致使北山造山带形成多期次构造叠加, 岩浆活动频繁, 变质作用和成矿作用强烈。北山地区是我国西北固体金属矿产主要资源地之一, 已发现铜-多金属、铜镍、铅锌、铀、优质锰、钨等矿产地, 已成为重要资源远景区<sup>[11]</sup>。该韧性剪切带附近已有磁海铁矿、平台山磷钒矿、方山口铀钒矿、M1033 铁矿、金窝子金矿、小独山钨金矿等, 近年来在该韧性剪切带附近发现清白山铅锌矿、清白山东金矿、聚源钨铅多金属矿等。通过对磁海—三架山一带开展矿产地质调查, 对三架山韧性剪切带进行了宏观、微观变形构造和控矿方面研究, 该剪切带的研究对推动北山地区基础地质、构造演化、成矿规律等方面提供依据。

## 1 地质背景

三架山韧性剪切带位于中亚造山带, 塔里木陆块, 北山古生代裂谷系<sup>[12-13]</sup>, 该韧性剪切带走向近东西向 (图 1), 横切北山裂谷系中三架山前寒武纪隆起, 向东延入甘肃境内, 向西在磁海北东被北东向断裂切割左行走滑复合, 东西向延伸大于 80 km, 宽 200~1000 m, 岩石变形强度一般, 主要为糜棱岩化岩石, 少量糜棱岩, 糜棱岩带强弱相间。

研究区内出露地层有元古代、古生代和新生代地层 (图 1)。元古代以长城系古铜井岩群和蓟县系平头山组构成前寒武系变质基底, 古铜井岩

群以片岩建造为主、平头山组大理岩建造为主, 其上有古生代地层不整合覆盖; 古生代地层自下而上依次划分为: 下寒武统双鹰山组铁质板岩、石英岩、含磷钒建造, 中上寒武统西双鹰山组硅质板岩建造, 中下奥陶统罗雅楚山群变质碎屑岩、硅质板岩建造, 中奥陶统锡林柯博组变质碎屑岩建造, 下二叠统红柳河组双峰式火山熔岩建造, 上二叠统骆驼沟组碎屑岩建造; 新生代出露地层为中新生世库车组和大面积第四系覆盖。研究区侵入岩大面积侵入发育, 主要有晚奥陶世、泥盆纪、石炭纪中酸性侵入岩, 少量二叠纪酸性和基性侵入岩, 火山活动不强, 后期有大量脉岩发育, 主要有辉绿岩脉、石英脉和少量基性杂岩体。区内断裂构造发育, 以近东西向和北东向断裂为主, 其中近东西向断裂规模较大, 形成三架山韧性剪切带。

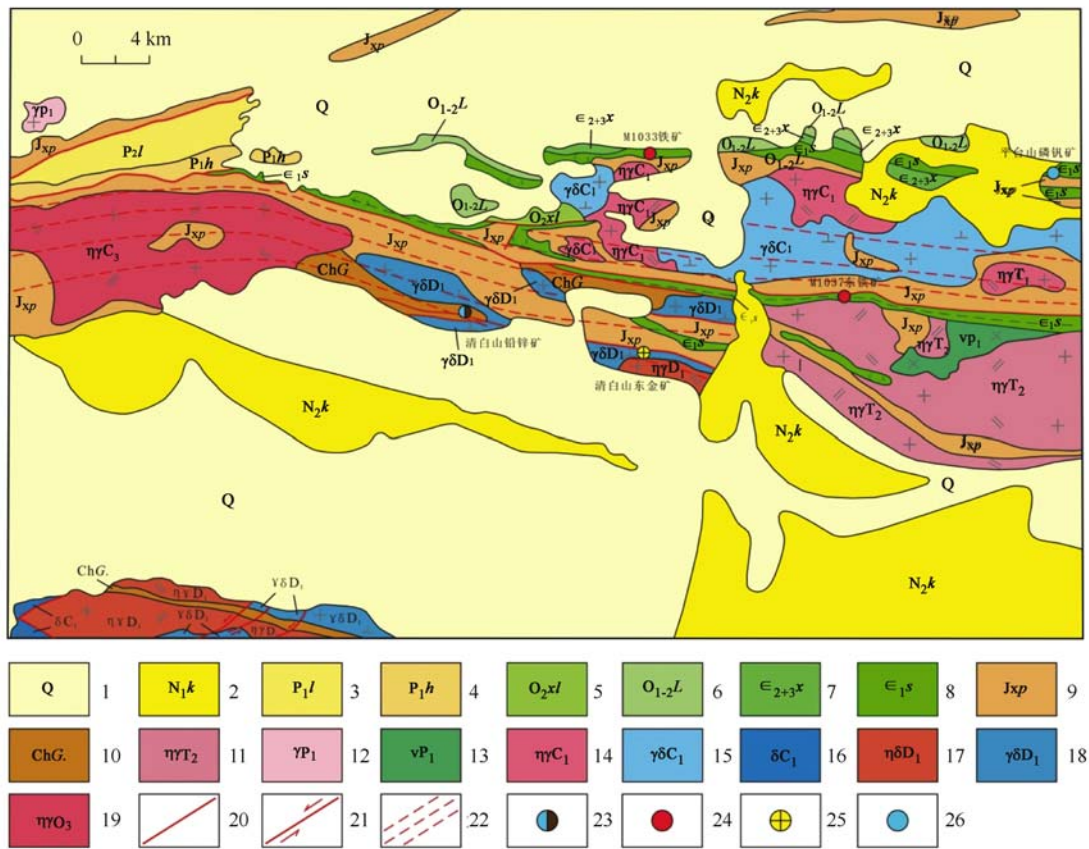
## 2 韧性剪切带构造变形特征及构造相确定

### 2.1 宏观地质特征

三架山韧性剪切带中宏观变形构造主要发育面理构造、拉伸线理、鞘褶皱、不对称褶皱、构造透镜体、旋转碎斑系等, 在蓟县系平头山大理岩地层和早泥盆世花岗侵入岩内表现最为明显。

面状构造: 面理构造指一矿物定向排列而显示的透入性面状构造, 由压扁拉长的矿物颗粒及集合体沿一定方向排列而成, 该韧性剪切带面理构造总体走向北东东向, 倾向 180°~200°, 倾角 70°~82°, 在晚奥陶世、早泥盆世糜棱岩化花岗岩中大量发育 (图 2a)。

拉伸线理: 该韧性剪切带中矿物拉伸线理发育, 主要由长石、石英、方解石颗粒、构造岩块、新生矿物等以平行排列的形式表式出来, 并均出现在变形岩石劈理面上, 它们代表了剪切变形的最大拉伸方向。花岗质糜棱岩中长英质矿物和大理岩中方解石矿物被定向拉长构成拉伸线理 (图 2b)。



1—第四系；2—第三系库车组；3—中二叠统骆驼沟组；4—下二叠统红柳河组；5—中奥陶统锡林柯博组；6—中下奥陶统罗雅楚山群；7—中上寒武统西双鹰山组；8—下寒武统双鹰山组；9—蓟县系平头山组；10—长城系古铜井岩群；11—中三叠世二长花岗岩；12—早二叠世花岗岩；13—早二叠世辉长岩；14—早石炭世二长花岗岩；15—早石炭世花岗闪长岩；16—早石炭世闪长岩；17—早泥盆世二长花岗岩；18—早泥盆世花岗闪长岩；19—晚奥陶世二长花岗岩；20—断裂；21—平推断层；22—剪切带；23—铅锌矿；24—铁矿；25—金矿；26—磷钒矿

图 1 研究区地质与矿产分布图

Fig. 1 Geological and mineral distribution map of the research area

鞘褶皱：其褶皱轴线与区域拉伸线理方向一致或平行，平面呈舌状体，总体呈剑鞘状，大小一般为二十几厘米，可用来判断剪切方向（图 2c）。

不对称褶皱：在蓟县系大理岩中较为发育，形态多样，尺度不等，多呈“Z”字型褶皱，其枢纽与拉伸线理方位一致，属于 A 型褶皱，其剪切方向为左行剪切（图 2d）。

构造透镜体：在该韧性剪切带中，在蓟县系大理岩中可见较大的强硬的大理岩剪切透镜体（图 2e），透镜体边缘劈理强烈，在早泥盆世糜棱岩化花岗岩中有和蓟县系大理岩中由石英脉和大理岩层受糜棱岩化作用，形成石香肠构造和布丁构造。

旋转碎斑系：早泥盆世糜棱岩化花岗岩中大

量发育，主要发育“δ”、“σ”型旋转碎斑，碎斑由斜长组成，旋转碎斑拖尾方向为左行剪切（图 2f）

### 2.2 显微构造特征

三架山韧性剪切带内普遍发育与韧性变形作用有关的显微构造，可为韧性剪切带的构造变形分析提供更多证据，主要有波状消光、矿物拉伸线理、眼球状构造、核幔构造、亚颗粒、动态重结晶等。

波状消光：波状消光是由于矿物晶体出现亚颗粒及位错引起的，在糜棱岩化岩石、糜棱岩中波状消光普遍出现，以石英晶粒、方解石晶粒的波状消光较为常见，在早泥盆世糜棱岩化花岗岩中石英的应变效应特征明显，具强烈波状消光（图 2g）。

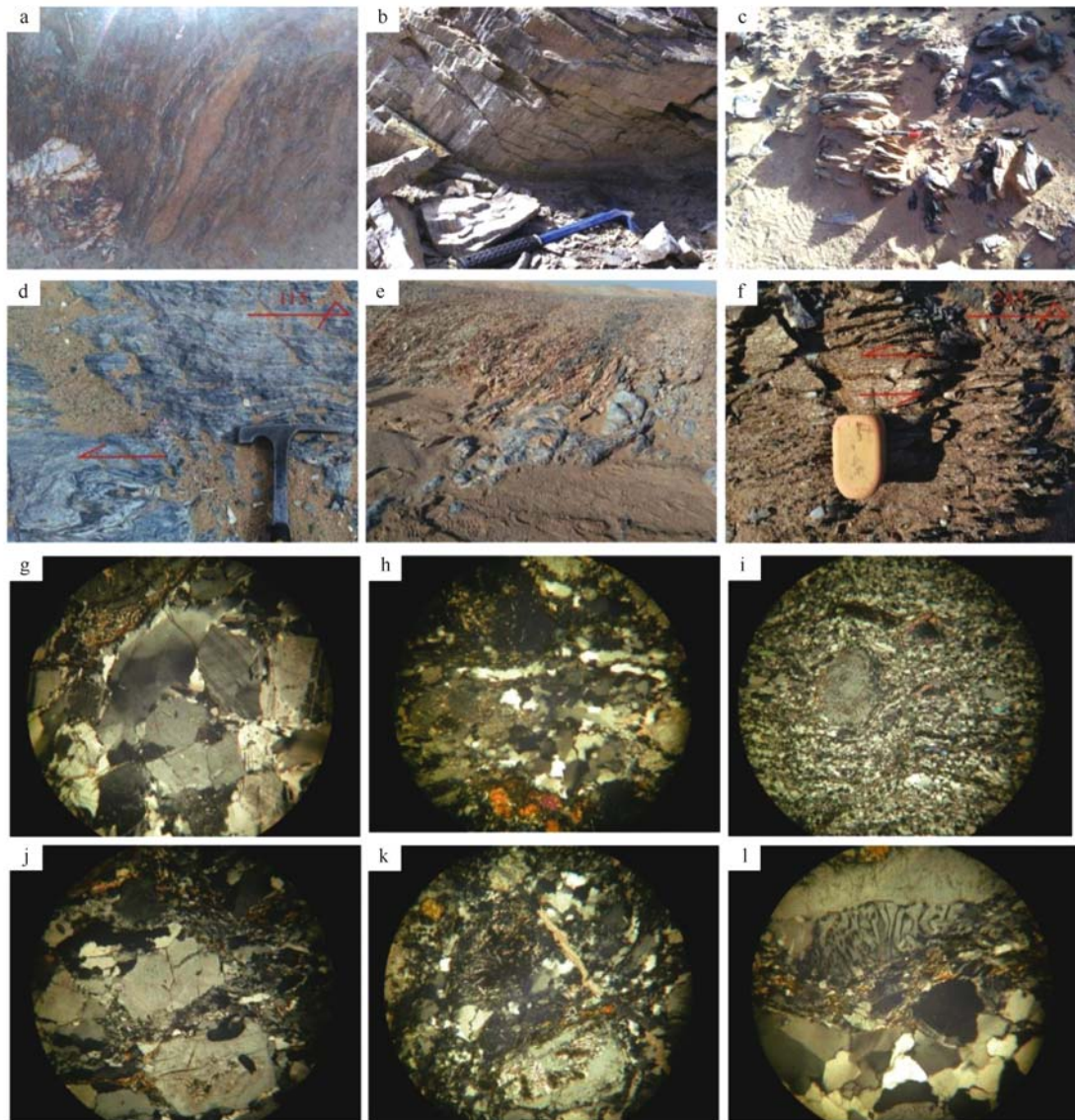


图 2 三架山韧性剪切带宏观及显微构造变形特征典型照片

Fig. 2 The typical characteristics photos of macroscopic and microstructural deformation in Sanjiashan

**矿物拉伸线理:** 花岗质糜棱岩中由于韧性剪切作用, 绢云母—石英集合体呈定向条纹—条带状存在, 构成矿物拉伸线理。花岗闪长岩中细叶片状的黑云母, 碎粒化的斜长石组成绕行碎斑的波形条纹, 构成矿物拉伸线理 (图 2h)。

**眼球状构造:** 花岗质细糜棱岩中中长石碎斑, 及少量微斜长石碎斑多呈眼球状定向排列, 构成眼球状构造 (图 2i)。

**核幔构造:** 核幔构造是糜棱岩特有的构造, 核是有晶内变形有大矿物颗粒, 幔是围绕核分布的同种矿物小颗粒, 这些小颗粒是经重结晶形成的, 基本无粒内应变, 核幔构造是糜棱岩的一种

重要标志。在爱尔基干岩群中, 碳酸质糜棱岩内可见围绕方解石残斑边缘形成的重结晶小颗粒, 组成了典型的核幔构造, 同时又具有不对称眼球构造特征, 花岗质糜棱岩中石英也具核幔构造 (图 2j)。

**亚颗粒:** 微糜棱岩化石英岩中石英受压形成大小不一的扭曲状透镜体, 具亚颗粒化 (图 2k)。

**动态重结晶:** 花岗质糜棱岩中石英、长石被塑型压扁及重结晶成集合体状, 形成动态重结晶 (图 2l)。

### 2.3 构造相确定

该韧性剪切带涉及地质体长城系古铜井岩群、

蓟县系平头山组、晚奥陶世、泥盆纪、早石炭世侵入岩,宏观地貌及卫片上看为明显呈线性构造,且呈舒缓波状延伸,具挤压兼走滑特征,其内不同部位有强弱应变之别,强弱应变带的界线不是突变的,而是呈一种渐变过渡的关系。强应变带表现为韧性变形,形成糜棱岩、超糜棱岩及糜棱岩化岩石等,拉伸线理、不协调褶皱、旋转碎斑系、石香肠、糜棱面理等韧性构造标志明显;弱应变带表现为脆性变形,形成各种碎斑岩、碎裂岩及碎裂岩化岩石。

韧性剪切变形带分为三种主要类型,即浅部构造相韧性变形带、中部构造相韧性变形带和深部构造相韧性变形带,它们与绿片岩相、角闪岩相、麻粒岩相的形成空间大体相同。不同构造相的韧性剪切带各有其特征,三架山韧性剪切带的构造岩类型有糜棱岩系及碎裂岩系,其形成的面理类型有S—C组构、片理、折劈理、破劈理等,线理类型主要为矿物拉伸线理,

褶皱样式有不协调褶皱、鞘褶皱等,变形作用方式有韧性位错滑移、扩散蠕变及脆性破裂,总体属中浅部构造相。

### 3 韧性剪切带的控矿特征

#### 3.1 清白山铅锌矿特征

清白山铅锌矿体断续出露长约10 km,产于长城系古铜井岩群,赋矿岩性为褐铁矿化白云石大理岩。矿体严格受长城系古铜井岩群中白云石大理岩控制,层位稳定,由于古铜井岩群为一套古老变质岩系,岩石经过了多期变质变形改造和再造,原始层理经已消失殆尽,不能恢复层序,为一套层状无序地层,岩石褶皱叠没有真厚度,所以矿体应与岩层同时褶皱形成了复杂的形态。区内构造线方向总体为近东西向,赋矿岩层顶板为石英岩,硬度较大,底板为黑云母石英片岩,地层变形较强,产状不稳定。



图3 清白山铅锌矿区探槽内密集褶皱

Fig. 3 Dense folds in the trench of the Qingbaishan lead-zinc mining area

矿区褶皱较为发育,轴面走向北西西向,矿区总体上处于一套复杂的复背斜系统,相对刚性的地块在长期的南北向应力作用以及岩浆作用下形成了近东西向宽缓的背斜(1级),多期次的拉张汇聚应力作用于中浅部构造层,形成了次一级的褶皱系(2级),浅表部动力变形使岩层及内部韧性变形形成固流褶皱(3级)。

多期次构造运动对容矿地层的影响,形成了非常丰富的地质现象,探槽内多见有无根褶皱、相似褶皱和流变褶皱、石香肠构造、“ $\delta$ ”、“ $\sigma$ ”构造,矿物拉伸线理等,岩层产状极不稳定,局部可见波长约2~5 m的密集褶皱(图3)。这些构造作用同样影响了矿体,使矿体变得非常不规则,整体看来是以韧性变形形成的密集褶皱式褶

皱系<sup>[14]</sup>。

#### 3.2 清白山东金矿特征

清白山东金矿产于三架山韧性剪切带南缘,赋矿岩石为一套强韧性变形的糜棱岩、超糜棱岩。岩石具糜棱结构,定向构造,千枚状构造,主要由韧性基质和变形残核,残碎斑晶和变斑晶组成,韧性基质主要为一些长英质破碎细小矿物,其含量在50%~80%,局部可达90%以上(超糜棱岩),变形残核主要为褐铁矿、石英等,多形成眼球状构造、核幔构造,残核发生破碎还可形成镶嵌构造等,残碎斑晶一般为石英和褐铁矿,极少见一些云母类矿物分布在岩脉边缘,变斑晶主要为绿帘石、绿泥石等,主要为叶绿泥石,呈墨绿色,片状。岩石中拉伸线理、糜棱面理、揉流褶

皱、变形残核、残碎斑晶、变斑晶、核幔构造、镶嵌构造等韧性构造标志明显。

金矿北部出露地层为蓟县系平头山组, 岩性为灰白色大理岩、灰色条带状大理岩和灰白色石英岩。中部和南部主要为早泥盆世花岗闪长岩和二长花岗岩体, 区内岩脉较为发育, 主要为石英脉、闪长岩脉、辉绿玢岩脉。受韧性剪切构造等影响, 围岩蚀变较为发育, 其中地层中主要发育绿泥石化、碳酸盐化、片理化、绢云母化及糜棱岩化等, 局部受热液蚀变发育硅化、褐铁矿化、黄铁矿化等。岩体主要发生云英岩化, 与地层接触带主要发生高岭土化、褐铁矿化、黄铁矿化、硅化等蚀变。为典型的韧性剪切带型金矿床。

韧性剪切带型金矿的成矿作用机制中存在成矿元素迁出区与矿化富集定位区的空间位置差异, 长期演化的韧性剪切带是剪切带型金矿床形成并导致多种金矿化类型叠加、形成大型金矿床的有利条件, 也是寻找大型剪切带型金矿床的有利地区。但是仅仅一期强烈变形的大型韧性剪切带, 其引发的动力变质热液形成的矿化富集区局限在其之上数公里的脆性、脆性区, 如果抬升剥露过程中没有继续发生变形, 那么这条大型韧性剪切带抬升到达近地表时, 出露的是大面积超深层次的变形带, 脆性变形带及已形成的金矿床早已剥蚀殆尽, 这也是韧性剪切带型金矿找矿的不利地区<sup>[15]</sup>。

## 4 结论

(1) 三架山韧性剪切带发育各种脆韧性变形组构, 在宏观和显微变形构造中收集了典型构造变形特征, 认为该剪切带构造相属于中浅部构造相, 韧性剪切方向为左行。

(2) 三架山韧性剪切带对清白山铅锌矿具有成矿改造作用, 为清白山东金矿的成矿热液提供导矿和容矿作用。

(3) 三架山韧性剪切带中新发现了多个矿产地, 对成矿、控矿作用明显, 具有较好的找矿潜力。

### 参考文献/References

[ 1 ] 聂凤军, 江思宏, 白大明, 等. 北山地区金属矿床成矿规律及找矿方向 [M]. 北京: 地质出版社, 2002, 1 - 408.

NIE Fengjun, JIANG Sihong, BAI Daming, et al. Metallogenic studies and ore prospecting in the conjunction area of Inner Mongolia autonomous region, Gansu province and Xinjiang Uygur autonomous region (Beishan Mt.), Northwest China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2002, 1 - 408. (in Chinese)

[ 2 ] 龚全胜, 刘明强, 李海林, 等. 甘肃北山造山带类型及基本特征 [J]. 西北地质, 2002, 35 (3): 28 - 34.

GONG Quansheng, LIU Mingqiang, LI Hailin, et al. The type and basic characteristics of Beishan orogenic belt, Gansu [J]. Northwest Geology, 2002, 35 (3): 28 - 34. (in Chinese with English abstract)

[ 3 ] 孙新春, 张雨莲, 高永伟. 甘蒙北山北带古生代地壳演化与成矿作用 [J]. 甘肃地质, 2011, 20 (2): 45 - 50.

SUN Xinchun, ZHANG Yulian, GAO Yongwei. Paleozoic crustal evolution and mineralization of the northern Beishan in Gansu [J]. Gansu Geology, 2011, 20 (2): 45 - 50. (in Chinese with English abstract)

[ 4 ] 左国朝, 何国琦. 北山板块构造及成矿规律 [M]. 北京: 北京大学出版社, 1990.

ZUO Guochao, HE Guoqi. Plate tectonics and metallogenic regularities in Beishan region [M]. Beijing: Peking University Press, 1990. (in Chinese)

[ 5 ] 左国朝, 冯永忠, 刘春燕, 等. 甘蒙北山中南带新发现燕山早期走滑挤压推覆构造带 [J]. 地质科学, 1992, (4): 309 - 316.

ZUO Guochao, FENG Yongzhong, LIU Chunyan, et al. A new discovery of early Yanshanian strike - slip compressional Nappe zones on middle - southern segment of Beishan Mts., Gansu [J]. Scientia Geologica Sinica, 1992, (4): 309 - 316. (in Chinese with English abstract)

[ 6 ] 左国朝, 李茂松. 甘蒙北山地区早古生代岩石圈形成与演化 [M]. 兰州: 甘肃科学技术出版社, 1996.

ZUO Guochao, LI Maosong. Formation and evolution of the early Paleozoic lithosphere in the Beishan area, Gansu-Inner Mongolia, China [M]. Lanzhou: Gansu Science and Technology Press, 1996. (in Chinese)

[ 7 ] 龚全胜, 刘明强, 梁宏宏, 等. 北山造山带大地构造相及构造演化 [J]. 西北地质, 2003, 36 (1): 11 - 17.

GONG Quansheng, LIU Mingqiang, LIANG Minghong, et al. The tectonic facies and tectonic evolution of Beishan orogenic belt, Gansu [J]. Northwest Geology, 2003, 36 (1): 11 - 17. (in Chinese with English abstract)

[ 8 ] 陈柏林. 甘新北山金窝子韧性剪切带型金矿床成因 [J]. 矿床地质, 2010, 29 (6): 972 - 982.

CHEN Bolin. A discussion on origin of Jinwozi ductile shear zone type gold deposit in Beishan area of Gansu and Xinjiang [J]. Mineral Deposits, 2010, 29 (6): 972 - 982. (in Chinese with English abstract)

[ 9 ] 左国朝, 郑亚东. 1990 年北山岩石圈研究野外调研取得重大突破: 发现八条区域性韧性剪切带及特大型推覆构造 [J]. 甘肃地质科技情报, 1991, (1): 1 - 4.

- ZUO Guochao, ZHENG Yadong. A major breakthrough in the field research of the Beishan lithosphere research; the discovery of eight regional ductile shear zones and extra-large Nappe structures [J]. *Gansu Geological Science and Technology Information*, 1991, (1): 1-4. (in Chinese)
- [10] 陈柏林, 吴淦国, 刘晓春, 等. 北山地区发现韧性剪切带型金矿床 [J]. *中国区域地质*, 2000, 19 (3): 336.  
CHEN Bolin, WU Ganguo, LIU Xiaochun, et al. Discovery of a ductile shear zone type gold deposit in the Beishan Mountain area [J]. *Regional Geology of China*, 2000, 19 (3): 336. (in Chinese with English abstract)
- [11] 杨合群, 李英, 杨建国, 等. 北山造山带的基本成矿特征 [J]. *西北地质*, 2006, 39 (2): 78-95.  
YANG Hequn, LI Ying, YANG Jianguo, et al. Main metallogenic characteristics in the Beishan orogen [J]. *Northwestern Geology*, 2006, 39 (2): 78-95. (in Chinese with English abstract)
- [12] 左国朝, 刘义科, 刘春燕. 甘新蒙北山地区构造格局及演化 [J]. *甘肃地质学报*, 2003, 12 (1): 1-15.  
ZUO Guochao, LIU Yike, LIU Chunyan. Framework and evolution of the tectonic structure in Beishan area across Gansu Province, Xinjiang autonomous region and Inner Mongolia autonomous region [J]. *Acta Geologica Gansu*, 2003, 12 (1): 1-15. (in Chinese with English abstract)
- [13] 李锦轶. 新疆东部新元古代晚期和古生代构造格局及其演变 [J]. *地质论评*, 2004, 50 (3): 304-322.  
LI Jinyi. Late Neoproterozoic and Paleozoic tectonic framework and evolution of eastern Xinjiang, NW China [J]. *Geological Review*, 2004, 50 (3): 304-322. (in Chinese with English abstract)
- [14] 夏天, 陈晔. 复杂褶皱构造对新疆北山地区清白山铅锌矿床的影响 [J]. *新疆地质*, 2017, 35 (4): 470-473.  
XIA Tian, CHEN Ye. Influence of complex fold tectonic on Qinbaishan lead-zinc deposit in Beishan area, Xinjiang [J]. *Xinjiang Geology*, 2017, 35 (4): 470-473. (in Chinese with English abstract)
- [15] 陈柏林, 董法宪, 李中坚. 韧性剪切带型金矿成矿模式 [J]. *地质论评*, 1999, 45 (2): 186-192.  
CHEN Bolin, DONG Faxian, LI Zhongjian. Ore-forming model of ductile shear zone type gold deposits [J]. *Geological Review*, 1999, 45 (2): 186-192. (in Chinese with English abstract)