文章编号:0258-7106 (2002) 02-0149-10

甘肃北山南带韧性剪切带型金矿床构造控矿解析*

陈柏林[1,2] 杨 农[1] 吴淦国[2] 叶得金[3] 刘晓春[1] 舒 斌[1]
(1 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081; 2 中国地质大学, 北京 100083; 3 甘肃省地质调查院, 甘肃 兰州 730000)

摘 要 通过研究不同层次的韧性剪切带与金矿化的关系及含金裂隙类型,结合地质地球化学和磁组构分析,探讨了韧性剪切带对金矿化的控制作用。认为韧性剪切带的控矿作用表现为在区域上控制金矿床(点)的分布,在矿床范围内,它既是唯一的赋(含)矿构造,也控制着矿化带和矿体的形态、产状、规模和分布,在矿床成因上决定了金矿化以蚀变糜棱岩型为主,同时韧性剪切变形及其形成的动力变质热液是金矿成矿流体的来源之一。

关键词 构造控矿解析 金矿床 韧性剪切带 北山南带 甘肃省
中图分类号: P618.51 **文献标识码**: A

几乎在 Sibson(1977)和 Ramsay(1980)最早发表韧性剪切带经典论著的同时,博伊尔(1979)就提出了韧性剪切带型金矿床——一种成矿机制和控矿因素与韧性剪切带有关的金矿床类型。此后,对韧性剪切带型金矿床和韧性剪切带控矿机制及韧性剪切变形作用对成矿元素迁移和富集关系的研究均取得了进展。其中以 Bonnemaison(1990)的剪切带金矿化三阶段成矿理论、根据里德尔剪破裂理论建立的韧性剪切带含矿裂隙系统(R 型、R′型、T 型、D 型和 P 型)(Roberts,1987)、断层阀模式(Sibson, 1988; Boullier, 1992)以及从韧性剪切带时空演化角度建立的韧性剪切带金矿成矿模式(陈柏林,1999;2000)最具有代表性。北山南带韧性剪切带自 90 年代初被发现(左国朝等,1991)之后,在该区陆续发现并勘查了包括小西弓中型金矿床在内的金矿床和金矿点,左国朝等(1991)和方维萱(1998)对金矿床与韧性剪切带的关系进行了初步分析。本文在前人研究的基础上,对韧性剪切带的成矿控矿作用、控矿机制等进行了比较深入的阐述。

1 地质背景

甘肃北山地区地处塔里木板块与哈萨克斯坦板块的聚合部位(左国朝等,1990),即燕山—阴山造山带的西段。区内地层主要为:①长城系和前长城系中-深变质岩系,包括敦煌群、白湖群、原勒巴泉群部分和太古宙及早元古代侵入岩类等。岩性以片麻岩、片岩类为主;②青白口系-下古生界中-浅变质岩系,岩性主要有浅变质杂砂岩、浅变质粉砂岩、粉砂质板岩、千枚岩、大理岩以及浅变质火山岩等;③上古生界-中生界,主要岩性为砾岩、砂岩、泥质粉砂岩、泥岩、生物碎屑灰岩、炭质页岩及石英角斑岩、流纹岩、凝灰岩和安山玢岩等。

区域构造呈近东西向展布,主要构造形式为:①韧性-超韧性变形构造层,发育于长城系和前长城系中-深变质岩系中,糜棱岩面理和 a 线理发育。②中浅层韧性-韧脆性变形构造层:发育于青白口系-下古生界中-浅变质岩系中,岩石中发育片理置换和劈理构造,片(劈)理近东西走向,倾角较大,多数为 70～90°,片理上 a 线理发育较差,地层中发育紧密褶皱。③浅层次逆冲推覆构造,表现为蓟县系白云岩逆冲推覆到青白口系-下古生界中-浅变质岩系之上;部分前中生界逆冲推覆到中生界之上(左国朝,1990;1992)。

2 北山南带韧性剪切带基本特征

北山南带(即敦煌地块北缘)地区韧性剪切带非常发育(左国朝,1991),西起古堡泉以南 25 km,经白墩子、石板墩、潘家井、西涧泉、小西弓,至西尖山,

* 本文得到原地质矿产部定向研究基金(地科定 96-21)资助
第一作者简介 陈柏林,男,1962 年生,研究员,主要从事区域构造、矿田构造和成矿预测研究。
收稿日期 2001-09-19;改回日期 2001-12-17。李 岩编辑。

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

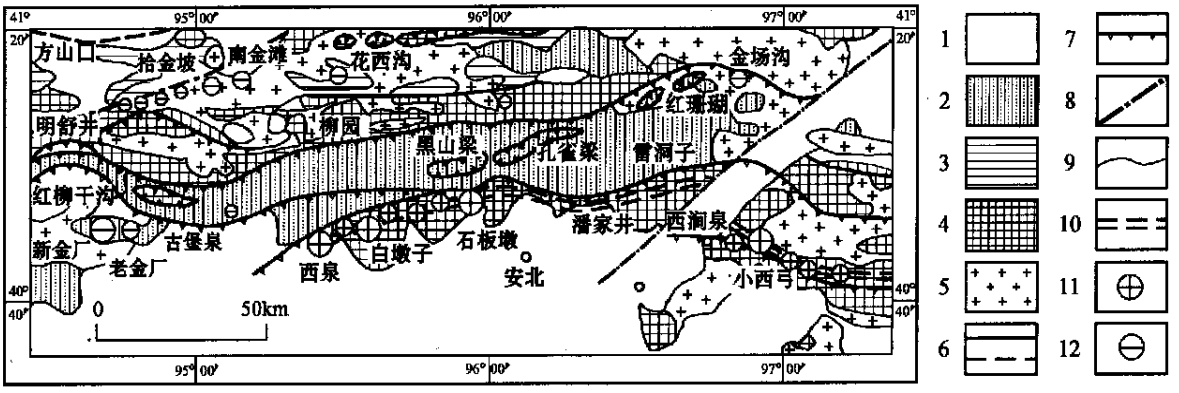


图 1 北山南带区域构造与金矿分布图(据左国朝等 1990; 1991 及 1/20 万地质资料并补充本文成果编制)

1—中-新生界; 2—未变质变形(或极轻微)构造层; 3—中浅变质韧性-韧脆性变形构造层; 4—中深变质、韧性-超韧性变形构造层; 5—侵入岩; 6—断裂/推测断裂; 7—推覆构造; 8—喜马拉雅期断裂; 9—地质界线; 10—韧性剪切带; 11—韧性剪切带型金矿床(点); 12—其他类型的金矿床(点)

Fig. 1 Geological map showing tectonics and distribution of gold deposits in southern Beishan area, Gansu Province

1—Cenozoic and Mesozoic; 2—Nonmetamorphic or slightly metamorphic synthem; 3—Meso- and epimetamorphic ductile-brittle deformation synthem; 4—Meso- and hypometamorphic ductile and ultra-ductile deformation synthem; 5—Intrusive rock; 6—Fault; 7—Nappe fault; 8—Himalayan fault; 9—Geological boundary; 10—Ductile shear zone; 11—Ductile shear zone type gold deposits; 12—Other types of gold deposits (spots)

并向东继续延伸到跃进山一带,东西全长达 240 km,南北宽 8～15 km。韧性剪切带总体呈近 EW 向(西段白墩子—潘家井为 NEE 向,东段小西弓—跃进山为 NWW 向)延伸(图 1)。

韧性剪切带内的岩石面理构造非常发育,且大多数面理构造呈近 EW 向(含 NEE 向和 NWW 向)。西段白墩子地区平均面理产状 165～175°∠70～85°,线理产状均以近水平为主,最大侧伏角 35°,平均为向东侧伏 6°,说明变形以近水平剪切为主;东段小西弓地区平均面理产状 205°∠65～86°,线理构造为近水平,侧伏角 5～10°。

岩石大多数经过稳态恢复结晶作用,具变晶糜棱岩特征,褶皱变形强烈,具有紧密同斜褶皱和 a 型(或 ab 型)褶皱的特征。发育长英质糜棱岩、黑云斜长质糜棱岩、绢云(白云)片状糜棱岩、硅质糜棱岩、角闪斜长质糜棱岩等。

有限应变测量结果显示强变形糜棱岩的最大应变轴比 a/c(即 K_{XZ})为 4～20。磁组构的磁各向异性度(P 值)为 1.2～1.6,最大为 2.3;P 值估算的糜棱岩类岩石应变轴比 K_{XZ}一般为 1.80～17.40,部分样品达到 25～50。由剪切角估算的剪应变为 2.6～4.2。宏观构造和微观组构反映的剪切运动方向为右行;依据 Twiss(1977)的公式,由动态重结晶石英颗粒的粒径估算的构造差应力为 53～106 MPa。

90 年代初以来,在北山南带金矿床的找矿工作也取得了突破,发现并勘查了与韧性剪切带有关的小西弓中型蚀变岩型金矿床。在白墩子一带,通过民采调查,也发现了众多的韧性剪切带型金矿床和金矿点(陈柏林等,2000)。研究表明,北山南带韧性剪切带型金矿床主要与在深层次韧性变形基础上叠加韧-脆性变形的继承性剪切带有关。

3 韧性剪切带宏观控矿作用

3.1 韧性剪切带控制金矿床(点)的分布

在长达 240 km 的韧性剪切带中,金矿床(点)分布广泛(图 1)。在东段有小西弓中型金矿床,该矿床有北、中、南 3 条金矿化带,每条带长 4～6 km,仅在南带西段约 800 m 的范围内圈定的储量就达到中型规模,金矿找矿远景甚佳,而且在其外围有杨圈沟、老君庙、乌龙泉等多个金矿点,其产出均与韧性剪切带关系密切(图 2)。在西段的白墩子地区,虽然目前没有发现中大型金矿床,但是金矿点众多(初步统计达到 39 个),单个金矿化带最长可延续 800～2 000 m,单个金矿体水平延伸可达 50～100 m,民采最深已至地面以下 70 余米,可见矿体延续性好、规模比较大。目前该区金矿石开采量较大,民采和地方选矿的金矿石日处理量已达300 t以上。金矿点均沿

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

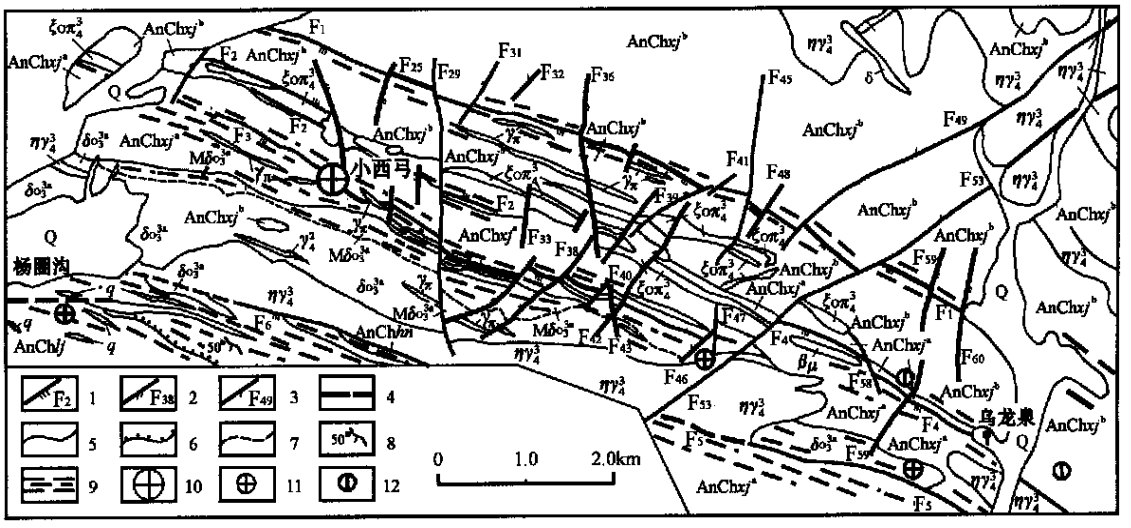


图 2　小西弓金矿床地质构造简图(据酒泉地调队 1996 年资料修编)

Q —第四系; AnCh xj^b —前长城系西尖山群上亚群; AnCh xj^a —前长城系西尖山群下亚群; AnCh hj —前长城系黄尖丘群; AnCh lj —前长城系老君庙群; $\zeta o\pi_4^3$ —华力西晚期石英正长斑岩; $\eta\gamma_4^3$ —华力西晚期二长花岗岩; γ_4^2 —华力西中期花岗岩; δo_3^{3a} —加里东期石英闪长岩; $M\delta o_3^{3a}$ —加里东期片麻状石英闪长岩; $\gamma\pi$ —花岗斑岩脉; $\eta\gamma$ —二长花岗岩脉; δ —闪长岩脉; $\beta\mu$ —辉绿岩脉; q —石英脉; 1 —韧-脆性剪切带; 2 —压扭性断裂; 3 —扭性断裂; 4 —推测断裂; 5 —地质界线; 6 —地层不整合; 7 —岩相界线; 8 —片麻理产状; 9 —韧性剪切带; 10 —中型金矿床; 11 —金矿点; 12 —铀矿点

Fig. 2　Geological-structural map of the Xiaoxigong gold deposit, Beishan, Gansu Province

Q —Quaternary; AnCh xj^b —Upper Subgroup of Xijianshan Group, Pre-Changcheng System; AnCh xj^a —Lower Subgroup of Xijianshan Group, Pre-Changcheng System; AnCh hj —Huangjianqiu Group of Pre-Changcheng System; AnCh lj —Laojunmiao Group of Pre-Changcheng System; $\zeta o\pi_4^3$ —Late Variscan quartz syenite-porphyry; $\eta\gamma_4^3$ —Late Variscan monzogranite; γ_4^2 —Middle Variscan granite; δo_3^{3a} —Caledonian quartz diorite; $M\delta o_3^{3a}$ —Caledonian gneissic quartz diorite; $\gamma\pi$ —Granite-porphyry vein; $\eta\gamma$ —Monzogranite vein; δ —Diorite vein; $\beta\mu$ —Diabase vein; q —Quartz vein; 1 —Ductile-brittle shear zone; 2 —Compresso-shear fault; 3 —Shear fault; 4 —Inferred fault; 5 —Geological boundary; 6 —Unconformity; 7 —Facies plane; 8 —Attitude of gneissosity; 9 —Ductile shear zone; 10 —Medium-size gold deposit; 11 —Gold ore spot; 12 —Uranium ore spot

韧性剪切带分布(图 3)。

3.2　韧性剪切带控制金矿化带和金矿体的产出

小西弓金矿是北山地区近年发现的与韧性剪切带有关的中型金矿床,其韧性剪切带的控矿作用表现为以下 3 点。

(1) 韧性剪切带及其演化过程中形成的韧-脆性剪切带是唯一的赋矿构造。

在韧性变形基础上叠加的韧-脆性断裂构造是成矿物质聚集的重要场所,是重要的含矿(储矿)构造;而韧性部分的构造变形带起到了构造动力分异和成矿物质活化的作用。韧-脆性变形带是韧性变形带在演化过程中,被抬升进入到韧脆性变形域后继续发生的变形,它是岩石变形由韧性向脆性演化的重要阶段,具有韧性变形和脆性破碎之间的过渡特征和双重特点。小西弓金矿区有 F_1、F_2 和 F_3 共 3 条韧-脆性变形带,它们呈狭窄的带状(或线状)分布,与韧性带相比,其特殊性是矿物粒内变形效应比较弱,片状矿物比较发育,面理构造具有可剥性,以发育构造片岩为特点。区内偏脆性的控矿构造带走向为 290°左右,一般呈小角度斜切变质岩面理或韧性变形糜棱岩片理构造(图 2)。沿主构造带旁侧(数米或十几米)常发育次级小韧-脆性变形带,同样有金矿化或金矿体产出;从目前有规模、有工业意义的矿脉(矿体)的产状来看,绝大多数为沿 NWW 向韧-脆性构造变形带产出,而变质岩构造中虽然也有石英脉发育,但是仅有极少量构成有意义的金矿化,晚期脆性断裂一般没有金矿化发育。

(2) 韧性-韧脆性剪切带对矿化带和矿体形态、产状、规模及分布的控制。

小西弓金矿区内主干控矿构造(F_1、F_2 和 F_3 韧-脆性剪切带)的群体组合形态呈现近于平行、等距离分布的特点,因而受其控制的金矿化带(北带、中带和南带)的组合形态也表现出同样的特征;而单条主干控矿构造常表现为以平直为主,略具舒缓波状的

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

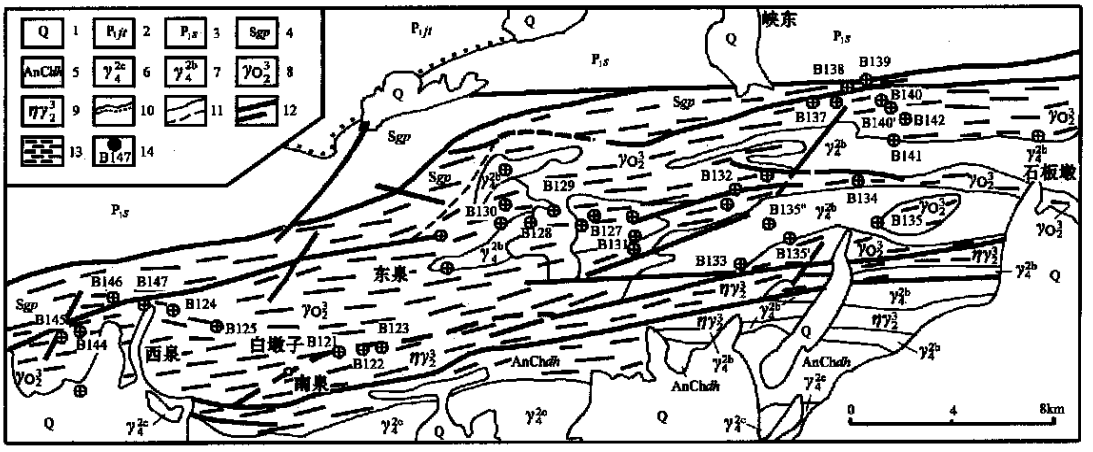


图 3 白墩子地区韧性剪切带构造与金矿点分布图(地层、岩石部分据 1/20 万地质资料)

1 —第四系; 2 —下二叠统金塔组; 3 —下二叠统双堡塘组; 4 —志留系公婆泉群; 5 —前长城系敦煌岩群; 6 —海西期斑状花岗岩; 7 —海西期花岗岩; 8 —晚元古代斜长花岗岩; 9 —晚元古代二长花岗岩; 10 —不整合界线; 11 —实测及推测地质界线; 12 —实测及推测韧脆性-脆性断层; 13 —韧性剪切带; 14 —金矿点及编号

Fig. 3 Geological map showing the ductile shear zone and gold deposits in Baidunzi area, Beishan, Gansu

1 —Quaternary; 2 —Lower Permian Jinta Formation; 3 —Lower Permian Shuangbaotang Formation; 4 —Gongpoquan Group of Silurian System; 5 —Dunhuang Group of Prechangcheng System; 6 —Variscan porphyritic granite; 7 —Variscan granite; 8 —Late Proterozoic plagiogranite; 9 —Late Proterozoic monzogranite; 10 —Unconformity; 11 —Geological boundary; 12 —Ductile-brittle and brittle fault; 13 —Ductile shear zone; 14 —Gold ore spot

特点,由其控制的矿化带也表现出同样的特点。此外,在主干构造带旁侧发育近平行的次级构造变形带,在金矿化分布上也表现为主矿带(主矿体)旁侧发育有与主矿带平行的次级矿带或矿体。

赋矿的韧脆性构造带总体呈 NWW 走向,倾向 SSW 为主,倾角普遍较陡(65～85°居多),由其控制的矿化带也表现出相同的产状特征。

在矿区范围内,F_1、F_2 和 F_3 含矿断裂带中,以南带(F_3)规模最大,断续延伸 1 500 m,变形影响的宽度也比中带和北带大,旁侧平行主干断裂的次级断裂也较发育,因此,受南带(F_3)控制的金矿化带规模比中带和北带大(一般十几米,170 线～190 线达到近百米),大小不等的金矿体有 40 多个,构成小西弓中型金矿床的主体。中带(F_2)和北带(F_1)控矿断裂构造规模相对小一些,特别是构造变形影响的宽度和范围比较小(一般仅 2～5 m),所以中带和北带的金矿化带规模比较小,金矿体也较少。

(3) 构造变形特点对金矿化类型的控制。

本区构造变形的特点是韧性-韧脆性构造变形。韧性构造变形表现为发育糜棱岩带,随着构造演化,比较深层次的变形带被抬升后,在其上叠加了韧-脆性变形,特别是由于本区岩石相对偏韧性,在成矿期也没有明显的脆性破碎发育,因此,这种构造所控制的金矿化类型为蚀变糜棱岩型,仅局部发育交代石英脉型金矿化,蚀变形式为交代蚀变。蚀变糜棱岩型金矿石具有交代浸染状、微细脉状和网脉状(脉幅小于 3 mm)等构造特点,反映出矿化蚀变时没有明显的脆性张裂空间。

4 韧性剪切带含矿裂隙系统

Roberts(1987)根据里德尔剪破裂理论建立的韧性剪切带含矿裂隙系统有 R、R′、T、D、P 五种主要类型(图 4)。小西弓金矿区以均为 P 型裂隙为特点。

根据对白墩子地区 32 个含金石英脉产状与糜棱岩片理关系的统计,白墩子地区含矿构造裂隙以平行于糜棱岩面理的 P 型为主(约占 78.1%),少量 D 型和 R 型,个别为 R′型和 T 型。在平面上,含金石英脉多平行于糜棱岩片理,少量以较大的角度相交(图 5);在剖面上,含金石英脉与糜棱岩片理平行或小角度相交(图 6),这一特点与本区韧性剪切带以右行水平剪切为主的变形运动学特征极吻合。

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

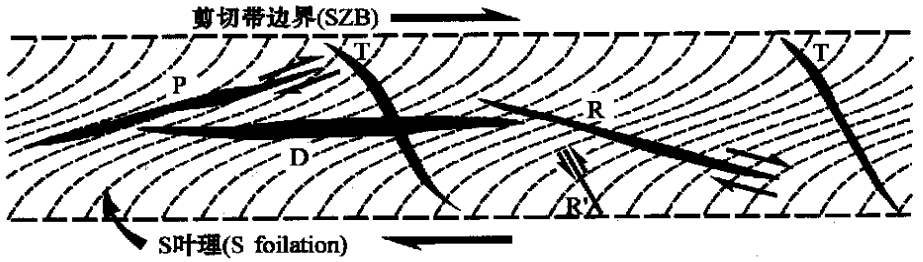


图 4　脆-韧性剪切带中裂隙和含金石英脉的方向示意图(Roberts ,1987)

R —低角度里德尔剪切裂隙(与剪切带边界成 15°夹角) ;R′—高角度里德尔剪切裂隙(与剪切带边界成 75°夹角) ;P —逆向剪切裂隙或压力剪切裂隙(与剪切带边界成 5～10°夹角) ;D —主剪切裂隙(与剪切带边界平行) ;T —沿应变椭球 YZ 面形成的张裂隙(与 S 叶理垂直)

Fig. 4　Geological map showing directions of fractures and Au-bearing quartz veins in the ductile-brittle shear zone

R —Low-angle Riedel shear fractures , at an angle of 15 °to the shear zone boundary ; R′—High-angle Riedel shear fractures , at an angle of 75 °to SZB ; P —Shear fractures or reverse fractures , at an angle of 5～10 °to SZB ; D —Principal shear fractures , parallel to SZB ; T —Extension fractures , formed along YZ plane of the strain ellipse , perpendicular to the S foliation

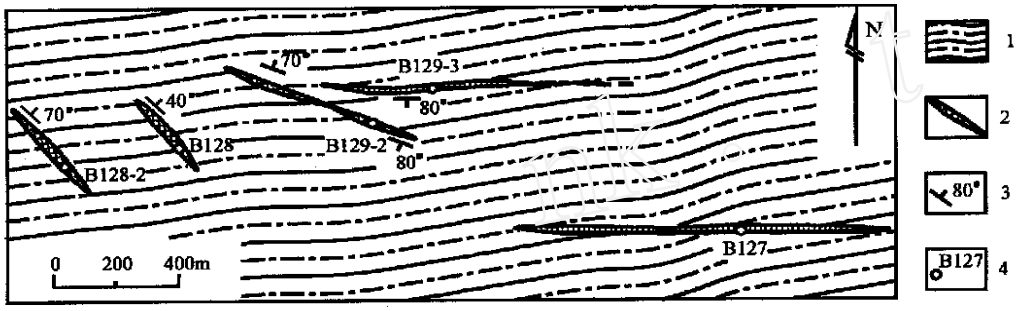


图 5　白墩子东部韧性剪切带中含金石英脉的分布

1 —花岗质糜棱岩; 2 —含金石英脉; 3 —产状; 4 —地质点及编号

Fig. 5　Distribution of Au-bearing vein in the ductile shear zone in eastern Baidunzi area , Beishan of Gansu

1 —Granitic mylonite ; 2 —Au-bearing quartz vein ; 3 —Attitude ; 4 —Geological spot and serial number

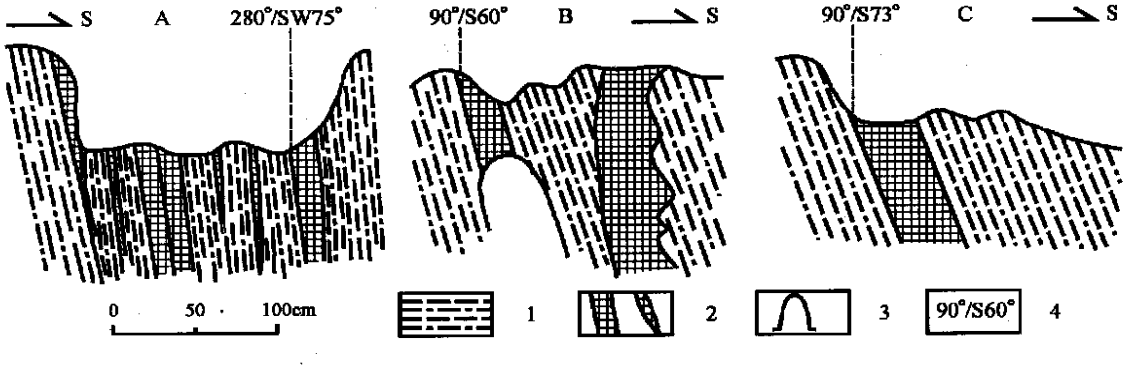


图 6　白墩子地区韧性剪切带中含金石英脉特征示意图

A. B121 矿点; B. B132 矿点; C. B134 矿点。1 —花岗质糜棱岩; 2 —含金石英脉; 3 —采空区; 4 —产状

Fig. 6　Sketch showing quartz vein in ductile shear zone in Baidunzi area

A. B121 gold ore spot ; B. B132 gold ore spot ; C. B134 gold ore spot. 1 —Granitic mylonite ; 2 —Au-bearing quartz vein ; 3 —Mined-out area ; 4 —Attitude

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

5 构造动力分异作用与金矿成矿流体来源的关系

韧性变形过程中的构造动力分异作用和由其所引起的韧性剪切带内矿物组成与化学成分的变化,以及含金热液(或称动力变质热液)的形成是普遍存在的,并已经在理论、实验和地质事实等方面得到证明(Borges et al., 1980; Brodie, 1980; 周济元等, 1989; 王小凤, 1989; 董法先等, 1993; 1998; 陈柏林等, 1998; 1999)。在小西弓地区,花岗质岩石是最主要的原岩之一,在构造变形形成糜棱岩的过程中,其矿物组成发生了明显的变化,未变形的花岗质岩石中 ϕ(钾长石)(钾长石的体积分数)为 40 %、ϕ(斜长石) 30 %、ϕ(石英) 30 %,而变形后形成的糜棱岩的矿物成分为 ϕ(绢云母) 20 %～30 %、ϕ(长石) 20 %～40 %、ϕ(石英) 40 %～50 %,显示长石在变形过程中退变质形成了石英和绢云母。以钾长石为例,其退变质反应为:

$$3KAlSi_3O_8 + 2H_2O = KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2 + 6SiO_2 + 2K^+ + 2OH^-$$

(钾长石) (水) (绢云母或白云母) (石英)

如果等量(n)的钾长石和钠长石同时参与退变质反应,则其反应为:

$$3KAlSi_3O_8 + 3NaAlSi_3O_8 + 4H_2O = 2KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2 + 12SiO_2 + 3Na^+ + K^+ + 4OH^-$$

(钾长石) (钠长石) (水) (绢云母或白云母) (石英)

这个化学反应从理论上说明构造变形及其引发的动力退变质作用可导致金矿成矿流体的形成,其所形成的 Na^+, K^+ 和 OH^- 是成矿过程中不可缺少的活性组分,并与 SiO_2 一起构成动力变质热液,是金元素活化迁移和成矿作用的重要介质。

据资料❶,小西弓金矿床金矿石硫化物单矿物的 $\delta^{34}S$ 为 1.22 ‰～9.63 ‰,其中黄铁矿平均7.88 ‰,磁黄铁矿平均 8.39 ‰,毒砂平均 7.12 ‰,闪锌矿平均 5.63 ‰,方铅矿平均 4.16 ‰,变化范围中等,$\delta^{34}S$ 呈比较明显的单峰式分布,表明以壳源硫为主;金矿石铅同位素组成:$^{206}Pb/^{204}Pb$ = 18.351～19.179, $^{207}Pb/^{204}Pb$ = 15.576～15.626, $^{208}Pb/^{204}Pb$ = 38.079～38.836,在 $^{207}Pb/^{204}Pb$-$^{206}Pb/^{204}Pb$ 投影图上多数投影点位于造山带上部至上地壳下部;成矿流体包裹体的均一温度为 133～233 ℃,成矿流体的盐度〔w($NaCl_{eq}$)〕为 6.27 %～6.43 %,流体密度 0.875～0.977 g/cm^3, $\delta^{18}O_{H_2O}$ = 1.5 ‰～4.0 ‰,成矿流体压力为 38～51 MPa。北山南带韧性剪切带型金矿床与北祁连山西段受韧性剪切带控制,但成矿流体主要来源于深源岩浆的寒山和鹰嘴山金矿床($\delta^{34}S$ 为 -1.9 ‰～+1.7 ‰, $\delta^{18}O_{H_2O}$ = +3.6 ‰～+7.6 ‰,毛景文等,2000)的特点具有明显的差异。上述地球化学和流体包裹体资料显示,小西弓金矿床成矿物质主要来源于变质岩,成矿流体有相当一部分来自(动力)变质水,这从成矿流体来源角度证明了构造动力分异作用和动力变质热液对金矿床成矿作用的贡献及其重要性。

6 韧性变形与金矿化的时序关系和成矿时代

对韧性剪切带的成矿机制一直争议较大,如对于构造变形与金矿成矿的关系,一些学者认为韧性剪切变形越强,构造差应力越大,Au 元素丰度越高(刘劲鸿,1991;杨开渠等,1990;许顺山等,1997);而另一些学者则认为韧性剪切作用本身导致成矿的可能性不大,在强烈韧性变形的条件下,Au 元素内能升高,是不稳定的,因而不会富集成矿,并且是岩石变形越强,Au 元素含量越低(邵世才等 1994;1996)。笔者认为韧性变形与金矿化的时序关系的确定是解决成矿机制的重要问题之一。对北山地区韧性剪切带型金矿床中宏观和显微变形组构非常相似的具不同程度矿化的糜棱岩进行的 Au 含量与磁组构各向异性度(P 值)的对比研究发现:P 值与金品位呈负相关关系(表 1、图 7、图 8)。

由于 P 值可以代表岩石的变形强度,而热事件是导致磁组构各向异性弱化(均一化)的主要因素,所以上述关系说明糜棱岩韧性变形稍早于蚀变矿化,成矿后没有强烈的韧性变形,弱矿化糜棱岩中的

❶ 吴淦国, 陈柏林, 叶得金, 等. 2000. 甘肃北山玉石山-黑山-马鬃山成矿带铜金镍成矿条件与找矿远景研究. 中国地质科学院地质力学研究所.

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 1　北山南带不同矿化强度变形岩石的磁组构(P)值和 Au 品位对比表

Table 1　Comparison of the susceptibility anisotropy and gold abundance between the mineralized and non-mineralized deformation rocks

	B22-3	B78-51	B81-1	B81-3	B82-3	B82-4	B121-3	B121-4	B122-5	B126-1	B137-1	B143-3
采样位置	平头山	小西弓	小西弓	小西弓	小西弓	小西弓	白墩子	白墩子	白墩子	白墩子	白墩子东	金窝子
岩性	弱矿化糜棱岩	弱矿化绢英质千糜岩	弱矿化绢英质千糜岩	强矿化糜棱岩	强矿化糜棱岩	强矿化糜棱岩	强矿化石英脉	弱矿化绢英质千糜岩	矿化石英脉透镜体	蚀变斜长角闪岩	矿化构造片岩	强矿化变形砂岩
P 值	1.1743	1.6308	1.3145	1.0572	1.0283	1.0706	1.0267	1.1712	1.0208	1.1176	1.0414	1.0313
$w_{Au}/10^{-6}$	1.70	0.02	0.12	7.53	31.05	25.0	21.5	2.419	5.175	0.04	12.5	74.1

注: 磁组构测试由中国地质大学(北京)古地磁实验室侯国良完成,采用 HKB-1 型卡帕桥测定仪测出样品 15 个方向的磁化率值,运用最小二乘法求得三个主轴方向的主磁化率值,再通过计算求得 P 值; Au 品位由国家地质测试中心完成,火焰原子吸收方法,仪器型号 PEAA-100,测试者: 谭元媛。

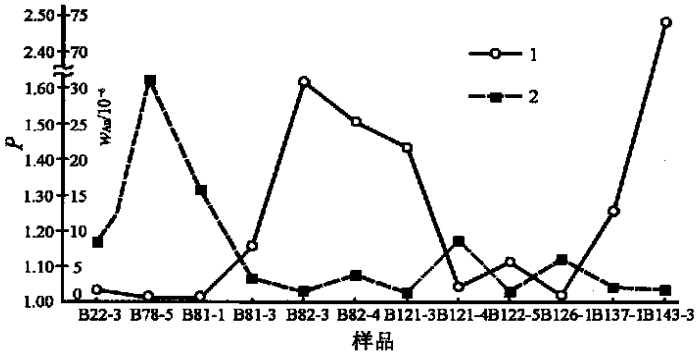


图 7　北山南带各类矿化变形岩石磁组构 P 值与 Au 含量变化曲线图

1 —Au 元素含量曲线; 2 —P 值曲线

Fig. 7　Variation of the susceptibility anisotropy and gold abundance of mineralized deformation rocks

1 —Gold grade curve; 2 —Susceptibility anisotropy curve

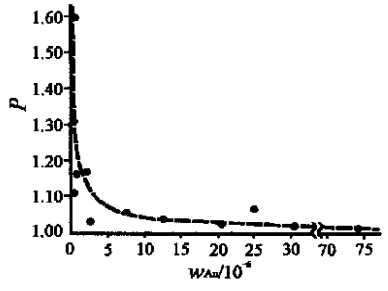


图 8　北山南带各类矿化变形岩石 P 值与 Au 含量相关图

Fig. 8　Correlogram between the susceptibility anisotropy and gold abundance of mineralized deformation rocks

磁各向异性是成矿前形成的磁各向异性的残留。这种变形与矿化关系说明韧性剪切带型金矿床深层次韧性变形形成的动力变质热液并不是就地原位矿化,而是运移至相对比较浅的部位(韧-脆性变形带中)发生金矿化,变形越强,Au 元素动力分异作用越强,含量也越低。

据区域构造演化分析,早元古代末为基底岩系变质变形、结晶基底形成阶段;加里东期发生板块聚合碰撞,导致青白口系-下古生界发生韧脆性变形,形成紧闭褶皱和面理置换;海西期裂谷封闭,并发生强烈的构造变形(包括带状的韧性剪切带)和岩浆活动,成矿作用发育于海西末期-印支期,其中小西弓金矿床与金矿化密切相关的变形石英闪长岩中的动力变质矿物绢云母 Rb-Sr 等时线年龄为 213 Ma,其后金矿化带被燕山早期花岗斑岩岩脉穿切。

所以,大面积的韧性变形动力分异作用形成的含金热液集中到范围比较窄小的韧-脆性或脆性裂隙中才发生金元素富集,并最终形成金矿床(陈柏林,1999;2000)。

7　结论和讨论

甘肃北山南带韧性剪切带发育。金矿床受韧性剪切带控制明显,在区域上,韧性剪切带控制金矿床

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

(点)的分布;在矿床范围内,韧性剪切带及其演化过程中形成的韧脆性剪切带既是唯一的赋(含)矿构造,也对矿化带和矿体的形态、产状、规模及分布起着决定性的控制作用;压扭性韧性剪切变形特点决定了金矿化类型以蚀变糜棱岩型为主,蚀变则以交代作用为特色。含矿构造裂隙以 P 型为主,少量 D 型和 R 型,个别为 R′型和 T 型;构造变形引发的动力分异作用形成了动力变质热液,它是金矿成矿流体的主要来源之一,这与地球化学和成矿流体包裹体研究显示的小西弓金矿床成矿物质主要来源于变质岩、成矿流体有相当部分来源于变质水的特征相吻合。结合糜棱岩磁组构研究,发现磁各向异性度(P 值)与金元素含量呈负相关关系,说明构造变形早于金矿化蚀变作用,这种时序关系进一步佐证了韧性剪切带型金矿床的成矿模式(陈柏林,1999),即大面积韧性变形构造动力分异作用形成的含金热液不是就地原位矿化,而是向上迁移并集中到范围比较窄小的韧-脆性或脆性裂隙中才发生金元素富集,最终形成金矿床的,成矿演化与构造演化相吻合。

References

Bonnemaison M and Marcoux E. 1990. Auriferous mineralization in some shear zone: A three-stage model of metallogenesis [J]. Mineralium Deposita, 25(2): 96～104.

Borges F S and White S. 1980. Micro-structural and chemical studies of sheared anorthosites, Roneval, South Harris [J]. J. of Struc. Geol., 2(1/2): 273～280.

Boullier A M and Robert F. 1992. Palaeoseismic events recorded in Archean gold-quartz vein networks [J]. J. of Struc. Geol., 14(2): 161～179.

Boyle R W. 1979. The geo-chemistry of gold and its deposits [M]. Geological Survey of Canada. Bulletin 280. Translated into Chinese by Ma W J, Wang L W, Luo Y G, et al. 1984. Beijing: Geol. Pub. House. 1～785.

Brodie K H. 1980. Variations in mineral chemistry across a shear zones in phlogopite peridotite [J]. J. of Struc. Geol., 2(1/2): 265～272.

Chen B L. 2000. The relationship between gold abundance and structural deformation in altered mylonite type gold deposits [J]. Mineral Deposits, 19(1): 17～25 (in Chinese with English abstract).

Chen B L, Dong F X and Li Z J. 1998. Experimental study on migration and accumulation of ore-forming elements under temperature and pressure [J]. J. of Geomech., 4(1): 72～77 (in Chinese with English abstract).

Chen B L, Dong F X and Li Z J. 1999. Metallogenic model of the ductile shear zone type of gold deposit [J]. Geol. Rev., 45(2): 186～192 (in Chinese with English abstract).

Chen B L and Dong F X. 1999. The relationship between rock deformation and mineral changes in ductile shear zone, Dabeiwu, Jiangxi [J]. J. of Min. and Petr., 19(1): 29～32 (in Chinese with English abstract).

Chen B L, Wu G G, Ye D J, et al. 2000. Discovery of Ductile shear zone type gold deposit in Beishan area [J]. Reg. Geol. of China, 19(6): 336 (in Chinese).

Dong F X, Chen B L, Li X Z, et al. 1993. The structural control of gold deposit in Jieling, Anhui, and vicinity and their further exploration [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 58～63, 81～84 (in Chinese with English abstract).

Dong F X, Li Z J, Chen B L, et al. 1999. A study of high-temperature and high-pressure experiment of correlativity between deformation system of Au-bearing rocks and element adjustment [J]. Acta Geologica Sinica (English Edition), 73(1): 40～46.

Fang W X. 1998. The characteristics, prospecting and predicating of the gold deposit hosted in altered fractures in the Huangjianqiu-Yuejinshan area, Gansu [J]. Geol. Explr. for Non-ferrous Met., 8(4): 210～215 (in Chinese with English abstract).

Liu J H. 1991. On the mechanism of mineralization in Archaean gold-bearing shear zone [J]. J. of Changchun Uni. of Earth Sci., 21(2): 157～166 (in Chinese with English abstract).

Mao J W, Zhang Z H, Yang J M, et al. 2000. Fluid inclusions of shear zone type gold deposits in the western part of north Qilian mountain [J]. Mineral Deposits, 19(1): 9～16 (in Chinese with English abstract).

Ramsay J G. 1980. Shear zone geometry: A review [J]. J. of Struc. Geol., 2(1/2): 83～99.

Roberts R G. 1987. Ore deposit models # 11: Archean lode gold deposits[J]. Geo-science Canada, 14(1): 37～52.

Shao S C and Wang D B. 1994. Geological and geochemical evidence for the genesis of altered fault rock type gold deposits in the Mount Xiong'er area, Henan [J]. Geol. Rev., 40(6): 520～525 (in Chinese with English abstract).

Shao S C. 1996. Discussion on the relationship between ductile shearing and mineralization of gold [J]. J. of Precious Met. Geol., 5(2): 142～146 (in Chinese with English abstract).

Sibson R H. 1977. Fault rocks and fault mechanism [J]. Geol. Soc. London, 133: 191～213.

Sibson R H, Robert F and Poulsen K H. 1988. High-angle reverse faults, fluids pressure cycling and meso-thermal gold deposits [J]. Geol., 16(6): 551～555.

Twiss R J. 1977. Theory and application of a recrystallized grain-size papeopiezometer [J]. Pure Appl. Geophys., 115: 227～244.

Wang X F, Wang Y G, Kang Z C, et al. 1989. Deformation and phase change of mineral under tectonic dynamic action [A]. Selected papers on geomechanics(9) [C]. Beijing: Geol. Pub. House. 187～201 (in Chinese with English abstract).

Xu S S, Yang N and Shun Q. 1997. Metallogenic dynamic studies of the Wendeng gold deposit, Shandong Province [J]. Mineral Deposits,

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

16(3): 272～277 (in Chinese with English abstract).

Yang K Q. 1990. Estimation of paleotectonic stress and gold enrichment [J]. Guangdong Geol., 5(1): 31～41 (in Chinese).

Zhou J Y, Yu Z C, Mao Y Y, et al. 1989. Ore solution migration and prognostication [A]. Selected papers on geomechanics(9) [C]. Beijing: Geol. Pub. House. 47～58 (in Chinese with English abstract).

Zuo G C and He G Q. 1990. Plate tectonics and metallogenic regularities in Beishan region[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 224p (in Chinese with English abstract).

Zuo G C and Cheng Y D. 1991. A great penetration of the field survey of lithosphere tectonics in 1990: discovery of eight regional ductile shear zones and extraordinary nappe structure [J]. Gansu Geol. Sci. & Techn. Inf., (1): 1～4 (in Chinese).

Zuo G C, Fang Y Z, Liu C Y, et al. 1992. A new discovery of early Yanshanian strike-slip compressional nappe zone on middle-southern segment of Beishan Mts, Gansu [J]. Scientia Geologica Sinica, 27 (4): 309～316 (in Chinese).

附中文参考文献

博伊尔 R W. 1979. 金的地球化学及金矿床[M]. 马万均,王立文, 罗永国,等译. 1984. 北京: 地质出版社. 1～785.

陈柏林, 董法先, 李中坚, 等. 1998. 矿物中元素迁移变化的高温高压实验研究[J]. 地质力学学报, 4(1): 72～77.

陈柏林, 董法先, 李中坚. 1999. 韧性剪切带型金矿床成矿模式[J]. 地质论评, 45(2): 186～192.

陈柏林, 董法先. 1999. 江西大背坞地区韧性剪切带中岩石变形与矿物变化的关系[J]. 矿物岩石, 19(1): 29～32.

陈柏林, 吴淦国, 叶得金, 等. 2000. 北山地区发现韧性剪切带型金矿床[J]. 中国区域地质, 19(3): 336.

陈柏林. 2000. 糜棱岩型金矿床金元素丰度与构造变形的关系[J]. 矿床地质, 19(1): 17～25.

董法先, 陈柏林, 李秀珍, 等. 1993. 安徽界岭金矿及其外围成矿控矿构造与找矿方向[M]. 北京: 地质出版社. 58～63, 81～84.

董法先, 李中坚, 陈柏林, 等. 1998. 含金岩系与元素调整分配相关性的高温高压实验研究[J]. 地球学报, 19(3): 280～287.

方维萱. 1998. 甘肃北山黄尖丘—跃进山蚀变岩型金矿特征、找矿标志及成矿预测[J]. 有色金属矿产与勘查, 8(4): 210～215.

刘劲鸿. 1991. 论太古宙含金剪切带的成矿机制[J]. 长春地质学院学报, 21(2): 157～166.

毛景文, 张作衡, 杨建民, 等. 2000. 北祁连山西段剪切带型金矿床成矿流体特征[J]. 矿床地质, 19(1): 9～16.

邵世才, 汪东坡. 1994. 河南熊耳山蚀变断层岩型金矿床成因的地质地球化学特征[J]. 地质论评, 40(6): 520～525.

邵世才. 1996. 试论韧性剪切作用与金的成矿[J]. 贵金属地质, 5 (2): 142～145.

王小凤, 王岩国, 康振川, 等. 1989. 构造动力作用下矿物的形变与相变[A]. 地质力学文集(9) [C]. 北京: 地质出版社. 187～201.

许顺山, 杨 农, 孙 青. 1997. 山东文登金矿成矿动力学研究[J]. 矿床地质,16(3): 272～277.

杨开渠. 1990. 构造古应力估算与金的富集[J]. 广东地质,5(1): 31～41.

周济元, 余祖成, 毛玉元, 等. 1989. 动力驱动矿液运移的若干问题与成矿预测[A]. 地质力学文集(9) [C]. 北京: 地质出版社. 47～58.

左国朝, 何国琦. 1990. 北山板块构造及成矿规律[M]. 北京: 地质出版社. 224 页.

左国朝, 郑亚东. 1991. 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, (1): 1～4.

左国朝, 冯永忠, 刘春燕, 等. 1992. 甘肃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, (4): 309～316.

Analysis of Ore-controlling Structure in Ductile Shear Zone Type Gold Deposits in Southern Beishan Area, Gansu Province

Chen Bailin[1,2], Yang Nong[1], Wu Ganguo[2], Ye Dejin[3], Liu Xiaochun[1] and Shu Bin[1]

(1 Institute of Geomechanics, CAGS, Beijing 100081; 2 China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 3 Gansu Geological Survey, Lanzhou 730000, Gansu, China)

Abstract

The ductile shear zone type gold deposits are a kind of deposits whose ore-forming mechanism and ore-controlling factors are closely related to the ductile shear zone and its evolution. Ductile shear zones are well developed in southern Beishan area. Based on the studies of the relationship between the ductile shear zone and the gold mineralization as well as the type of Au-bearing fracture system, combined with an analysis of geology and geochemistry and magnetic fabric, this paper has dealt with the controlling role of the ductile shear zone over the

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

gold deposits. The authors have reached the following understanding: (1) The regional distribution of gold deposits (and gold spots) is controlled by the ductile shear zone. (2) The ductile-brittle shear zone is the only ore-bearing structure which controls the shape, attitude, size and distribution of ore-forming zones and orebodies. (3) The mechanical property of the compression-shear ductile deformation leads to the results that the main kind of gold mineralization is of altered mylonite type and that the main alteration is metasomatism. (4) Dynamic differentiation and dynamic metamorphic hydrothermal solution produced by ductile deformation seem to be one of the sources of ore-forming fluids for gold mineralization. The above understanding is identical to the conclusion drawn from fluid inclusions and geochemical characteristics of the deposits that ore-forming minerals are mainly derived from metamorphic rocks and ore-forming fluids are mainly composed of metamorphic water.

Key words: analysis of ore-controlling structure, gold deposit, ductile shear zone, southern Beishan area, Gansu Province

荒漠戈壁区地球化学调查方法取得重大进展

针对我国大面积的干旱荒漠戈壁中薄弱的地球化学调查工作,“大规模成矿作用与大型矿集区预测”项目组在国家“973”项目和地质大调查项目的支持下,应用深穿透地球化学方法和最新研制出的高灵敏快速活动态 Au,Pt,Pd 联测信息提取与分析方法(ICP-MS 活动态多元素分析方法,这在国内外尚数首次),在东天山 15 万平方公里面积内开展了地球化学扫面实验,取得了如下重大进展:

1. 将战略性超低密度地球化学方法与深穿透地球化学方法相结合,在大面积荒漠戈壁覆盖区内新发现了十余处 U,Cu,Au,W,Pb-Zn-Ag,Pt-Pd 战略靶区,结束了在荒漠戈壁盆地不能进行地球化学调查的历史。

2. 将 GPS 与 GIS 技术相结合,对超低密度地球化学调查结果进行了数字化处理。

3. 制作了东天山 15 万平方公里、33 种元素的地球化学图,填补了东天山大部分地区的地球化学空白。

4. 在全区内共圈出大于 1 000 km^2 以上的地球化学块体 17 处,其中以铜为主的 6 块,以金为主的 4 块,以铀为主的 3 块,以钨为主的 1 块,以 Au-Cu-Pb-Zn-Ag 组合、Cu-Pb-Zn-Ag 组合和 Cu-Ag-Pb-Zn 组合为主的各 1 处。

5. 根据这些地球化学块体的分布和区域成矿条件综合分析,将整个研究区由北向南依次划分成 6 个成矿带或成矿远景带,包含已知大型矿集区 6 处,新预测大型矿集远景区 11 处。特别是在哈密盆地大规模铀异常的发现,预示着其有可能超过吐鲁番盆地成为我国最大的地浸型砂岩铀矿基地。

6. 在对新发现的几个大规模地球化学异常的初步检查中有重要发现,如在哈密盆地东南部边缘地块拣块石英脉中首次发现含量高达 19 g/t 的金矿化,这一异常东西向延伸长达 20 km,尽管异常主体被第四系风成沙所覆盖,但在异常边部有泥盆系安山玢岩、火山角砾岩和石炭系火山岩地层出露以及第四系地表见有石英脉角砾的事实,表明该异常具有极大的找寻大型金矿的潜力。

(王学求 迟清华 供稿 李 岩 编辑)

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net