

河北崇礼县东坪含金石英脉构造分析

郑亚东 宋官祥 李广会 张 臣

(北京大学地质系)

提 要 控制矿脉的断裂原为雷德尔剪断裂组成的共轭系。因应力场的改变, 有利一组再活动和成矿而不利另一组。据共轭剪裂角及脉石英中二氧化碳包体的研究推断, 成矿深度大约一公里。

关键词 金矿 雷德尔剪裂隙 再活动 桥区成矿

一、概 述

东坪金矿位于河北张家口地区崇礼县南约 15 公里。矿区位于尚义—崇礼断裂带南侧水泉沟碱性杂岩体^①的南缘。岩体围岩为太古界谷咀子组, 主要岩性为角闪斜长片麻岩和斜长角闪岩。片麻理总体走向北西西, 高角度倾向北。

碱性杂岩体总体走向北西西, 东西延伸 30 余公里。东坪地区以白榴石白岗岩为主。该岩体被中侏罗系火山岩系覆盖。岩体成分不均。由于暗色矿物含量不同, 常显示深浅颜色不同的条带, 总体产状与片麻理一致。岩体时代可能为前长城纪。

矿区主要构造为东坪河断层, 走向 320°左右, 沿东坪河谷发育, 倾向北东, 倾角约 70°, 延伸 4 公里以上。根据铁矿标志层的产状及错开, 断层为正断运动方式。

金产于北北东至北东东向石英脉及其边缘蚀变带中, 主要蚀变类型为硅化及钾化。矿脉直接受断裂控制, 主体走向北东, 倾向北西, 中度倾斜, 延伸一般不过一公里。已发现石英脉 30 余条, 其中主要代表为 1, 2, 3, 4 及 22 号脉(图 1)。

二、矿区构造的基本特征

本区矿脉据产状和构造特征可分两类: 1、北北东向左步型(left stepping)^[2] 矿脉; 2、北东东向右步型(right stepping)^[2] 矿脉。

1、北北东向左步型矿脉 走向北东 10°~30°, 倾向北西, 倾角 40°~50°。一般脉幅 15~

^①宋瑞先, 崇礼水泉沟碱性岩体的成因及其与金矿的生成联系, 河北地质情报, 1986 年, 3 期(总第 66 期), 47~54 页。

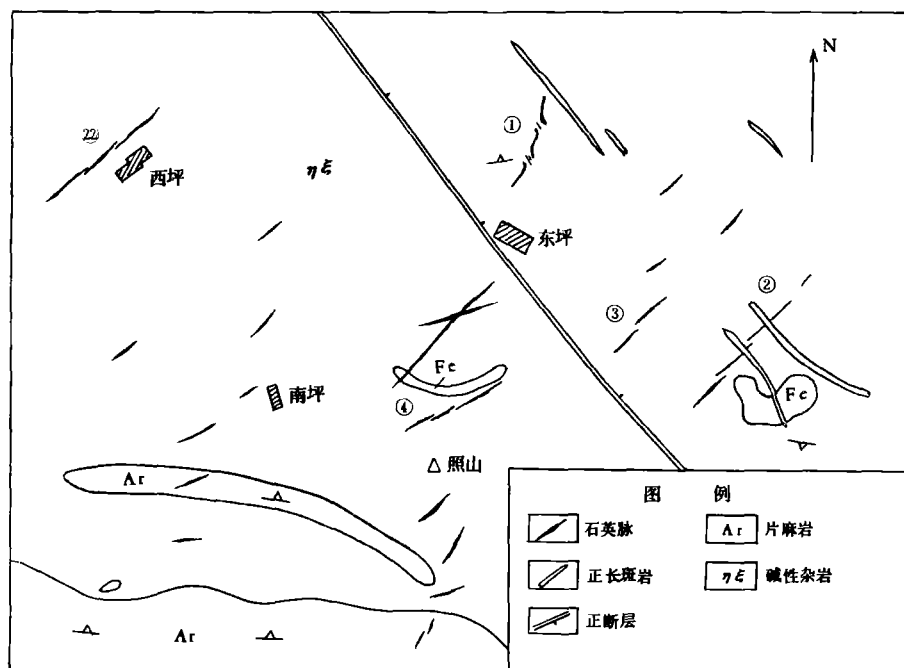


图1 东坪矿区地质略图

Fig. 1 Simplified geological map of Dongping mine area.

40 厘米。矿脉总体呈左步雁行排列,单脉与脉列成 10° 左右交角,单脉间重叠系数甚小(0.0~0.2)。这些特征表明脉体是受雷德尔剪切裂隙方向^[1]控制,左步型雷德尔剪切断裂所指示的两盘运动方式为右行剪切。除总体雁列方式可说明剪切指向外,还有以下标志可以说明这种剪切方式:

①分枝脉 1号脉北端向东分出两支脉,支脉总体产状 $56^\circ/\text{NW} \angle 60^\circ$ 。脉幅 20 厘米左右,宽于主脉的平均脉幅。支脉受断层控制,断带宽 20~40 厘米,其南东侧有宽 15~20 厘米的钾化、硅化角砾岩带。主支脉结合处脉幅急剧增大,石英向支脉方向逐渐减少,最终消失。不难看出,这些支脉系由张性断裂控制,表明主脉两盘的运动方式为右行剪切。

3号脉下盘常出现羽状支脉,支脉与主脉沟通,邻近主脉脉幅厚大,向旁侧很快尖灭,构成典型的楔状张性支脉。支脉产状近东西走向,倾向北,倾角 $55^\circ \sim 60^\circ$ 。根据主支脉的关系判断,脉岩形成时两盘运动方式为右行剪切。

②拉分脉 2号脉左步雁行脉间的桥区^[2]出现典型的拉分脉(图2,图3)。根据拉分脉判断,脉岩充填时两盘的运动方式为右行剪切(即东盘或下盘相对南移,参看图9)。

③脉中的“生长条带”及角砾的定向 矿脉中有时发育“生长条带”,“生长条带”与脉壁近平行,说明它与张开方向近垂直。照片1中2号脉体产状 $38^\circ/\text{NW} \angle 40^\circ$,”条带”与脉壁以 19° 左右的锐角相交。相邻不远的角砾状脉中,角砾显示定向排列,与脉壁呈 20° 角相交。两者都统一指示两盘的右行剪切运动方式。

上述诸构造标志均表明脉岩形成时两盘运动方式为右行剪切。然而问题并不如此简单,

调查过程中发现以下复杂情况:

① 1号脉上下两盘对应的暗色成分条带(产状 $75^{\circ}/\text{NNW}\angle 41^{\circ}$)被1号脉错开,视错距1.5米(图4)。根据断面产状($346^{\circ}/\text{SSW}\angle 49^{\circ}$),擦痕产状($336^{\circ}\angle 22^{\circ}$)和上述标志层产状,求得沿断面的总体运动方式为左行,与前述判断的右行剪切方式相反,总滑距为3米左右。

② 1号脉总体为左步雁列,但在桥区矿脉转向北北西并分散为细脉,细脉间构成右步侧列方式(图1)。

③ 2号脉群中脉体间为左步侧列,但在桥区,走向转向 335° ,矿体膨大。矿体膨大是因该方向无数微张裂隙的穿插。北西或北北西向裂隙倾向南西,倾角较缓 $30^{\circ}\sim 45^{\circ}$ 。多数为矿化好的蚀变强的微裂隙。由于这些微裂隙的准透入性穿插。围岩发生强烈的钾长石化及矿化,多数可以看到明金。许多裂隙有不足一毫米的石英细脉充填,少数可以看到角砾化矿脉。有些矿脉错断早期石英脉,绝大多数显示正断式运动。

北西向矿脉的脉幅与产状有密切的关系,倾角较陡处分枝或加厚(图5)。走向偏西者分枝或加厚,有些则发育为典型的拉分脉(图6)。这些现象有力地证明北西向脉形成时受张剪性裂隙控制,上盘相对向北东下落的同时并向南东运动,下盘相对向南西上升的同时并向北西运动。支脉的性质及两盘的这一动向指示主脉两盘的运动方式应为左行。

指示左行的运动标志与前述指示右行的构造标志显然是相互矛盾的,沿一断裂不可能同时发生两种相反的动向。

根据野外观察:指示右行的标志主要与无矿或含矿性差的石英脉有关,如前述1号脉的东侧支脉,具有明显的张性特征(角砾岩发育,石英充填等);指示左行的标志绝大多数与含矿石英脉有关。含矿石英脉常切割无矿石英脉。因此与右行剪切有关的北北东向断裂为初始无矿断裂(图9a①)其后由于应力场的变化,才变为左行剪切北西向的含矿断裂(图9b①)。

2、北东东向右步型矿脉

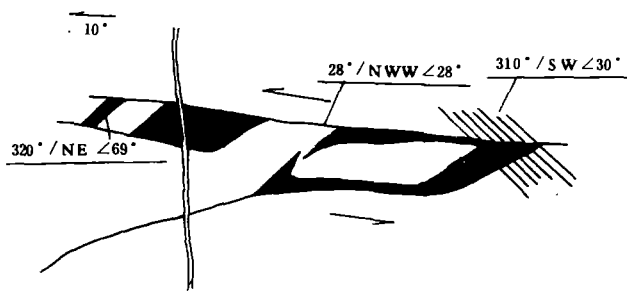


图2 2号脉中的拉分脉指示西盘相对向北,东盘向南的右行剪切运动。

Fig. 2 Pull-apart vein of vein No. 2, showing a dextral sense of displacement; the west wall moves northwards with respect to the east wall.

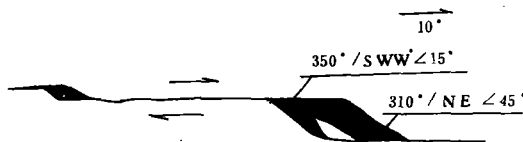


图3 2号脉桥区中的拉分脉指示右行剪切运动。

Fig. 3 Pull-apart veins in the bridge area of vein No. 2 showing a dextral sense of displacement.

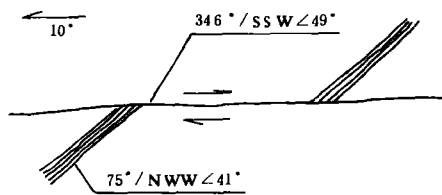


图4 暗色条带被1号脉错开,视断距1.5米。

Fig. 4 Cut-off dark band by Vein No. 1 with apparent displacement of 1.5m.

主要是4号脉及22号脉。4号脉由三条石英脉构成右步雁列脉。雁列总体走向64°,单体平均产状为59°/NW∠70°,剖面呈后侧式。雁列延伸700余米,雁列间距10~25米,重叠系数小(约为0.15)。这些特征表明控制脉体的断裂相当于雷德尔剪切面,断裂形成时的两盘运动应为左行剪切。

4号脉主要为洁白块状石英组成,厚度大,含矿性差,未见脉角砾岩及同构造破碎现象。据系统测量,该脉走向与脉幅间有系统联系,走向偏东段脉幅偏小,走向偏北段脉幅增大(图7)。该特征有时突出地表现在具体露头上,如该脉列东段,两条细脉重叠处矿体出现菱形局部扩张,脉幅宽达5米左右(图8)。菱形块南北边界与主脉沟通产状一致,东西边缘平直显然受断裂控制。这种特征的矿体形态和构造格局无疑是主脉形成时两盘左行剪切运动的产物,左行剪切使先存近南北向的裂隙在主脉叠接部位拉开,形成典型的拉分脉体,左行位移在5米以上。此外,主脉旁侧的楔状支脉及“拖曳弯曲”也同样表明主脉形成时两盘的左行剪切运动。4号脉的剖面后侧式斜列意味着形成时具有一定的逆冲分量。

22号脉与4号脉相似,大约由三条呈右步侧列的矿脉组成,但走向偏北。脉列总体走向52°,单体走向42°。矿脉倾向北西,倾角约50°。脉幅一般0.5~1.5米,很少超过2米。产状与脉幅均介于2号与4号脉之间。该脉的显著特征之一是含大量硫化物,特别是方铅矿,二是明显受断层控制,其底板有较厚的白色未粘结的断层泥,普遍见有倾向擦痕(照片2)。脉体却基本完整,表明断层是在很浅的构造层次上(小于4公里深)形成的^[3]。22号脉脉幅与倾角之间显示一些关系,厚度最大部分出现在较缓倾斜地段(30°~40°),而厚度最小部位处于倾角最陡处。表明脉就位时两盘的逆冲成分。

矿区主要矿脉的基本特征如表1所示。

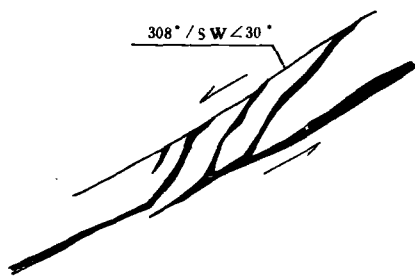


图5 北西向矿脉断裂系统与脉幅的关系图

Fig. 5 Relationship between NW Vein-fractures and vein-thickness.

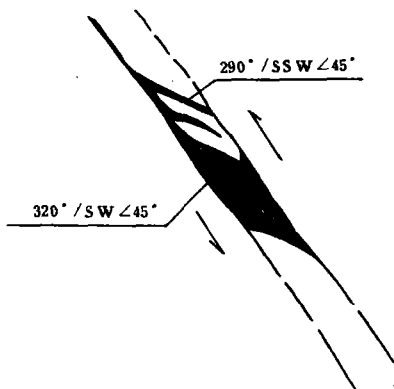


图6 北西向矿脉的拉分构造指示左行剪切运动

Fig. 6 Pull-apart structure of NW veins showing sinistral sense of displacement.

三、矿田构造分析

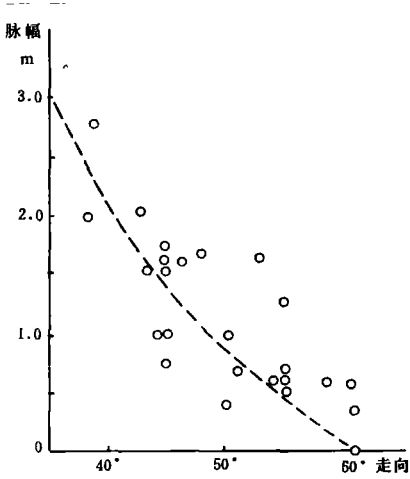


图7 4号脉脉幅与走向间的关系,脉幅于走向偏北地段加厚

Fig. 7 Relationship between thickness and strike of veins No. 4 showing vein thicker in the north deviation parts.

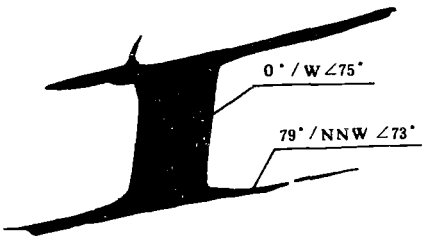


图8 4号脉中的菱形拉分脉

Fig. 8 A lozenge pull-apart vein of vein No. 4.

上述矿脉构造的基本特征表明,本区矿脉可分为两类:一类以1,2号脉为代表,走向北北东,总体为左步侧列,控制早期贫矿石英脉,反映断裂和石英脉形成时两盘的右行剪切运动;另一类以4号脉为代表,走向北东东,总体为右步侧列,控制早期贫矿石英脉的就位,反映断裂和石英脉形成时两盘的左行剪切运动。值得注意的是一号脉的东侧分枝脉产状与4号脉相似,2号脉北端的向东分支也具有类似产状。它们与主脉汇合沟通,并为同性质的石英脉充填,表明其生成时代相同。时代相同,雁列方式和运动方式相反的成对裂隙或矿脉应作为共轭剪切裂隙^[4]。

共轭剪切裂隙一般可用以确定裂隙形成时的应力状态^[4]:即交线代表中间应力轴(σ_2),压入象限的分角线为最大主应力轴(σ_1)方向(压为正, $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$),而挤出象限的分角线为最小主应力轴方向(σ_3)。取 $27^\circ/\text{NW} \angle 40^\circ$, $59^\circ/\text{NW} \angle 70^\circ$ 代表一、二类脉的平均产状,求得控矿裂隙形成时的应力状态为, $\sigma_1 - 12^\circ \angle 37^\circ$, $\sigma_2 - 225^\circ \angle 31^\circ$, $\sigma_3 - 135^\circ \angle 35^\circ$, 即大致北北东向的挤压和南东向的拉张。这种应力状态可说明主要矿脉的雁列方式和两盘的相对运动。(图9a①)。

第一类脉桥区的右步侧列矿脉和桥区矿体膨大富集以及主脉旁侧的北西向分支矿脉反映了应力状态发生了新的变化。即 σ_1 方向由原北东向转至北北西向,使北北东向断裂发生左行剪切,从而产生了主要成矿期桥区的引张状态(图9b①)。然而这种应力状态却不利于第二类矿脉的再次活动,因为应力的这种取向与北东东向断裂大致垂直,沿断裂的剪切分量甚小。(图9b②)。

控矿断裂旁侧的岩石以脆性行为为主,被错断的标志层很少或仅有不明显的“拖曳”效应,表明岩石应变甚微,断裂的性质为脆性破裂。而控矿断裂的断层岩主要是未粘结的断层泥,碎裂岩及脉角砾岩。这类构造岩现代通常作为浅层次含水断层的产物,其形成深度一般不超过4公里。^[3]

主应力值可以根据共轭剪裂角的大小(38°)来估计。根据 Price (1977) 的典型的岩石破

坏包络线(图 10) ^[5] ,取本区岩石抗张强度(T)为 20.96MPa,求得控矿断裂形成时的有效应力为:

$$\sigma_1 = 4.5T \times 20.96 = 94.32 \text{ MPa}$$
$$\sigma_3 = -0.85T \times 20.96 = -17.82 \text{ MPa}$$

(见图10中叉号位置)

表 1 主要矿脉的基本特征
Table 1 Basic characteristics of main veins

矿脉 对比项	1	2	3	4	22
矿石类型	块状 角砾状	块状 角砾状	块状	块状	块状
脉列走向	NE5°	NE12°	NE15°	NE64°	NE52°
矿脉产状	10°/NW∠50°	27°/NW∠40°	28°/NW∠38°	59°/NW∠70°	42°/NW∠50°
平均脉幅 (cm)	15	20~40	20~30	200	50~150
雁列方式	总体左步 桥区右步	左步 桥区右步	左步	右步 后侧	右步
厚度分配 规律	不明显	不明显	不明显	偏北加厚	缓处加厚
可能的 运动方式	初始右行 成矿左行	初始右行 成矿左行	初始右行	左行	左行

有效应力为总应力与流体压力(P)之差 ^[6] 。根据本区一号脉石英中二氧化碳包体测得的压力值为 48.05MPa,如果该值代表流体压力,则实际应力值为:

$$\sigma_1 = 142.37 \text{ MPa}$$
$$\sigma_3 = 30.23 \text{ MPa}$$

表明本区控矿断裂的形成深度约为 1 公里。

四、对矿区勘探工作
的几点意见

本区成矿早期在北北东向斜向最大主应力和倾向南东最小主应力作用下,在大约 1 公里深度范围内形成北北东和北东东向两组脆性断裂构造,它们控制了石英脉的充填与就位。当主成矿期应力场发生变化,最大主应力方向由北北东转至北北西时,上述北北东向左步雁列断裂再次活动发生左行剪切,结果在桥区、主脉旁侧及向深部延伸部分形成右步雁列脉和北西向

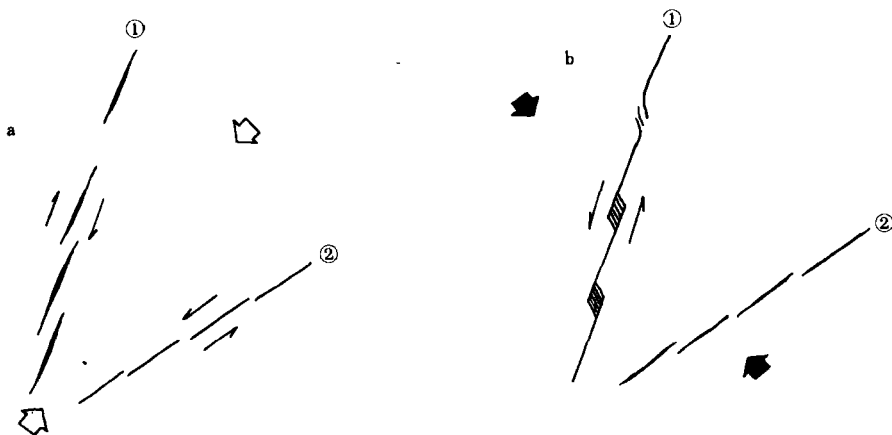


图9 矿区石英脉的运动学与动力学分析平面示意图。

注明：a) 早期贫矿石英脉形成期：近北东—南西向主应力作用下形成北北东向左步右行雁行脉和北东东向右步左行雁行脉；b) 晚期成矿期：北北西—南南东向主压应力作用下，沿北北东向脉发生反向的左行运动，在桥区形成拉分脉及右步型张剪性细脉，而原北东东向脉所处方位在新应力状态下不利于再活动。

Fig. 9 Suggested kinematic and dynamic analysis of the quartz in the area.

矿脉。北东东向断裂活动性较差，不利于成矿（图 9b）。成矿后构造继承了成矿期的应力状态，主要形成一组北西向断裂（包括东坪河断层），控制晚期正长斑岩的侵入。

基于上述认识，推测：

1. 北北东向断裂有利于矿的形成。

2. 成矿的有利地段是北北东向左步雁列的桥区及北西向分支断裂发育地段。

3. 矿脉往下延伸的最大深度可能为 1 公里左右，再往下可能变成北西向右步雁列细脉。

衷心感谢北京大学刘本立副教授对本人研究的支持和臧启家副教授提供矿区石英包体的研究成果。

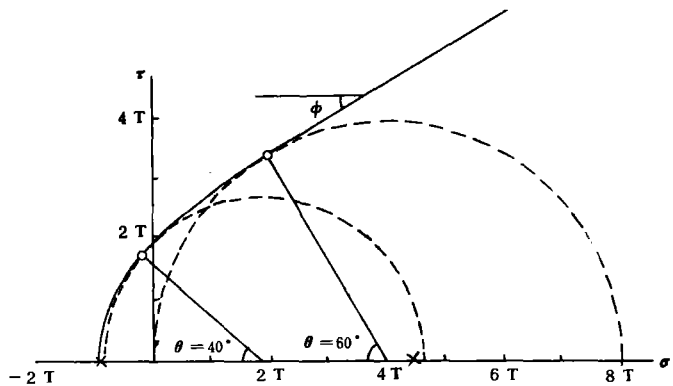
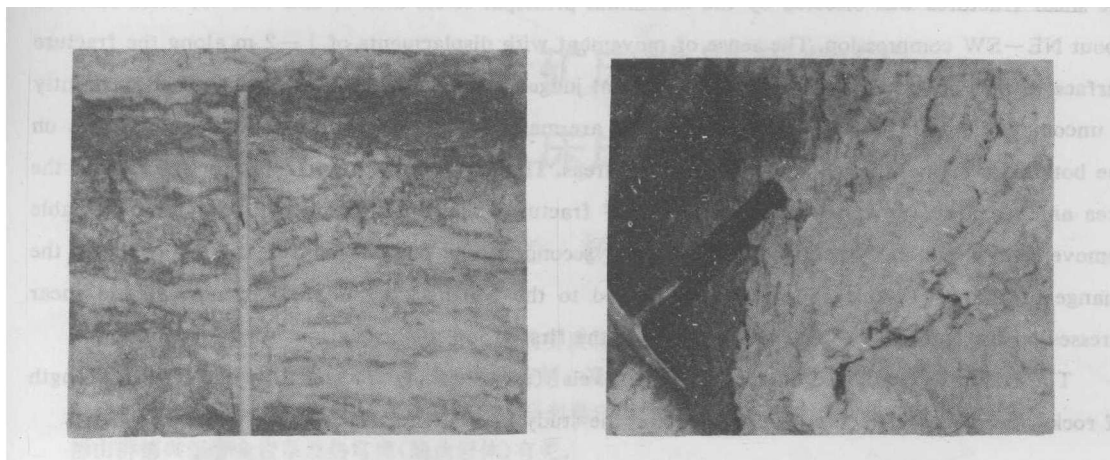


图 10 综合破坏包络线(据 Price 1977)

Fig. 10 A generalized failure envelope. (from price 1977)



照片1 2号脉中的角砾状矿石及条带状构造

照片2 22号脉底板的白色断层泥

参考文献

- [1] Tchalenko, J. S. , Similarities between shear zones of different magnitudes. Geol. Soc. Amer. Bull, 1970, 81, 1625~1640.
- [2] Gamond, J. F. , Bridge structures as sense of displacement criteria in brittle fault zones. J. Struct. Geol. 1987, 9, 609~620.
- [3] Sibson, R. H. , Fault rocks and fault mechanisms. J. Geol. Soc. London, 1977, 133, 191~213.
- [4] Гэзовский М. В. , Тектонические поля напряжений. АН СССР, сирия геофи3, No5, 1954.
- [5] Price, N. J. , . Aspects of gravity tectonics and the development of listric faults. J. Geol. Soc. Lond, 1977, 133, 311~327.
- [6] Hancock, P. L. , Brittle microtectonics, principles and practice. J. Struct. Geol. 1985, 7, 437~457.

STRUCTURAL ANALYSIS OF DONGPING GOLD-BEARING QUARZ VEIN SYSTEM IN CHONGLI COUNTY, HEBEI PROVINCE

Zheng Yadong, Song Guanxiang, Li Guanghui, Zhang Chen (Department of Geology Beijing University)

Abstract

The gold bearing quartz veins occur in Archean alkali — granitic complex of granulite facies. The fractures controlling the veins can be divided into two groups. The first group strikes NNE and dips to WNW at $38^{\circ} - 50^{\circ}$ and the second ENE with dip — angles of $50^{\circ} - 70^{\circ}$ to NNW. The veins of the first group are arranged en echelon of left stepping and the latter shows right stepping. The individual veins are usually at inclination of ca 10° to the direction of vein arrays. They are, therefore, considered here as conjugate sets and consist of Riedel shear fractures. This implicates that they developed initially under condition that the acute angle between

the shear fractures was bisected by the maximum principal stress axis σ_1 and that the field suffered about NE—SW compression. The sense of movement with displacements of 1—2 m along the fracture surface of the first group, however, is left lateral judged from the some markers. The fact apparently is incompatible with the above inference. There are many offsets of veinlets, which strike NNW, on the both sides of main veins and in the bridge areas. They are mainly responsible for the gold in the area and redgarded as a result of reactivation of fractures. There is no evidence to show appreciable removement along the fracture surface of the second group. The reason for this probably is the change of the stress state. Since the σ_1 switched to the Northwest, the ratio of normal and shear stresses on the fracture surface is favorable for the first group to slip and not for the second.

The fractures developed at very shallow levels (about 1 km) reckoned by the tensile strength of rocks, the angle between conjugate sets and the study of CO_2 enclosures in the quartz.

找 矿 信 息

我国晋北发现球粘土

最近我院刘长龄高级工程师对晋北曾于 1983 年所找到的一种高塑性粘土进行研究,发现是一种球粘土。这种粘土与国外的球粘土相比,具有基本相同的特点:(1)高可塑性。可塑性指数可达 4 以上,可塑水含量达 51%,结合性能好;(2)分散性好。矿物结晶颗粒细,主要在 2μ 以下;(3)干燥强度高,干燥粘土坚硬度好;(4)高温性能好;(5)粘土主要由无序高岭石组成,有的为变埃洛石,还有少量如蒙脱石等其它粘土矿物。但我国产出时代为较老的二叠系,石英极少或无,蒙脱石也往往转变成蒙脱石~伊利石混层粘土矿物。化学成分分析结果, Fe_2O_3 和 K_2O 的含量稍高。初步估计矿床规模可达中型以上,且外围还有一定远景。

这一发现将有可能解决我国长期从国外进口球粘土这种耐火材料结合剂的问题,为我国钢铁工业的发展,提供辅料基地,目前正进行深入的调查研究工作。

(一室刘长龄供稿)