

夏色岭钨铜矿床反S形构造形成机理

柳志青 倪纪文 朱雄飞 丁武宝 汪予忠

(浙江大学地质系)

在钨矿床中,反S形构造是一种少见的构造类型。作为典型,夏色岭钨矿床的反S形构造已编入许多地质力学教材。然而其理论分析及模拟实验,至今仍有很大分歧。

地质概况

夏色岭钨铜矿床分布的地层属中震旦统雷公坞组。矿床主要分布于两条北东向断裂之间。 F_1 断裂破碎带宽3~5米,具断层泥、片理、凸镜体及条带状构造,倾向南东,局部转为北西,倾角40~80°。断裂走向变化较大,时而北东,时而北北东。 F_2 与 F_1 断裂性质相同,但规模小得多(图1)。

矿区西南部出露燕山期中细粒花岗岩和中粒花岗岩。围岩受热变质作用,形成强烈的角岩化。花岗岩出露标高为900~970米,向北东隐伏于反S形脉带下部。隐伏花岗岩顶板标高为700~800米,因此反S形脉带并不是位于花岗岩顶峰之上。花岗岩体受 F_1 断裂控制,从南西向北东侵入,局部超覆于角岩之上,与其隐伏部份组成虎口状,为形成反S形脉带创造了良好的边界条件(图2)。

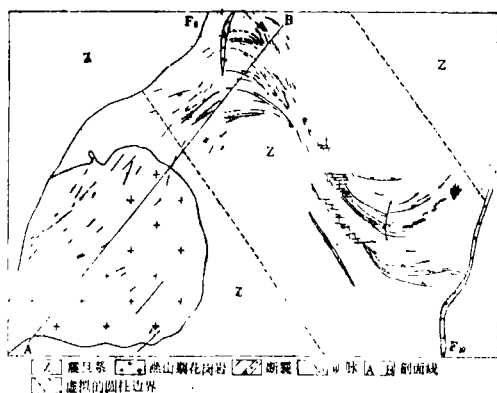


图1 夏色岭钨铜矿床地质略图
(据××地质队,有修改)

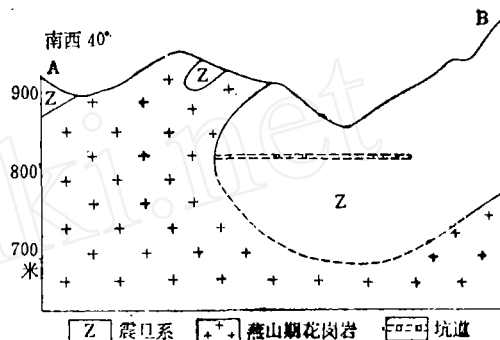


图2 A-B剖面花岗岩体超覆于角岩之上

反S形脉带位于 F_1 断裂和 F_2 断裂之间。总体走向为北西—南东向,长400余米,宽40~100米。反S形脉带从北西向南东,产状有明显的变化。在北西端靠近 F_1 断裂处,石英脉走向北东。在剖面上,石英脉单体倾向北西,倾角55~75°,呈后侧排列,因而总体倾向为南东,倾角60~80°。石英脉单体一般长2~5米,形态很不规则,在平面上呈右形排列。少数矿脉单体长达40米以上。往北东方向,石英脉走向逐渐转为东西向,倾向南。再往南东,石英脉走向又转为北西向,向南西倾或直立。从脉带北西端向反S形脉带中部,矿脉条数和脉带中石英脉总厚度都锐减,到脉带中部,几乎没有矿脉。由此再向南东方向,矿脉条数和脉带中石英脉总厚度又猛烈增加。开始,矿脉走向仍为北西,但倾向已变为北东向陡倾或直立。继而转为东西走向,倾向北,倾角50~70°。最后走向转为北东,倾向北西。此时石英脉单体在平面上作右行排列。

反S形脉带中石英脉形态极不规则,矿脉单体膨缩强烈,延长多短小,属典型的拉张裂隙被矿脉充填而形成。脉带向下延至隐伏花岗岩顶板附近,迅速尖灭或缩小。

石英脉中富含黑钨矿和黄铜矿，在垂直方向上，分带不明显。共生矿物尚有黄玉、白云母、萤石和闪锌矿、磁黄铁矿等。

反S形脉带形成机理

关于这一反S形脉带的形成机理有几种说法。谢少华^[1]认为是类似于山字形构造的一种脉带，是在南北向挤压力下形成的。一般认为，此反S形构造由二个帚状构造组成，外旋层向收敛方向扭动，内旋层向撒开方向扭动，并认为在二帚状构造连接处有一较大的隐伏花岗岩存在，反S形构造的形成，一部份原因是该带中部岩块对于周围岩石发生旋扭作用而形成，即旋转轴是近于直立的。

要确定这一反S形脉带的形成机理必须注意以下几点：①石英脉系充填于拉张裂隙中。②脉带走向和倾向均有规律性变化。③隐伏花岗岩和表露花岗岩是相联的，因此花岗岩体最高点并不在反S形脉带中部以下。④反S形脉带中部，有20米左右的无脉区，把脉带分为北西、南东二部份。但是从无脉区向下有石英脉，使整个反S形脉带成为一个整体。

显然，要形成这样的反S形脉带必须有特殊的动力来源和边界条件。我们认为，这一反S形脉带相当于近水平放置的圆柱，两端受扭转而形成的拉伸裂隙充填矿脉而成。

圆柱扭转时，如果从柱表面上取出一矩形六面体，在其侧面ABCD上只有切应力 τ 作用。那么在纯剪状态下，可以证明在与柱中心线或45°的断面上，作用的最大主应力 σ_1 ，其绝对值等于切应力 τ （图3）。脉带的围岩——角岩为脆性材料时，其抗拉远弱于抗剪，因此在扭转时，顺着与轴线或45°的螺线发生拉伸破坏。

图3所示为纯剪状态，在ABCD平面上，既无正应力也无切应力，因此ABCD为一主平面，其主应力等于零。在AB平面上的正应力为零，切应力为 τ ，所以在图3c中决定了 D_α 点，在BC平面上的正应力为零，切应力为 $-\tau$ ，在图3c中决定了 D_β 点，以 $D_\alpha D_\beta$ 为直径的圆即为应力圆（半径 $=\tau$ ）。在应力圆中OA及OB即代表主应力 σ_1 和 σ_3 ，

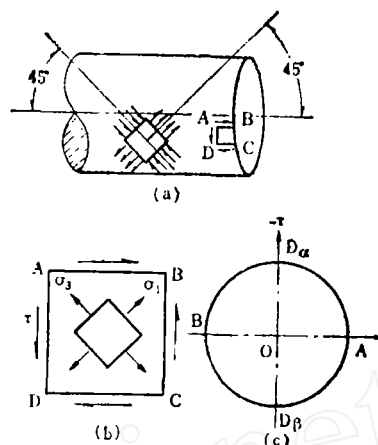


图3 圆柱扭转时的应力分析

因为OA及OB也是应力圆的半径，故 $\sigma_1 = OA = \tau$ ， $\sigma_3 = OB = -\tau$ ，在应力圆中从 D_α 到A点的圆弧所张圆心角是顺时针方向的90°，所以AB面的法线以顺时针方向转45°，得最大应力 σ_1 的方向（ σ_1 与主平面法线的方向重合）。圆柱体受扭转时的破坏形式，用一支粉笔受扭便很容易得到证明（图4）。对比粉笔的这一破坏面和夏色岭的反S形脉带，可以明显地看出，它们是何其相似。粉笔破坏面的典型状态，呈一反S形，与夏色岭反S形脉带的形态产状十分吻合。

一个引人注目的现象是，在反S形脉带的中部，有一无脉区，把脉带分为二部份，而在无脉区之下，却有矿脉把这二部分脉带连为一体。这是怎么回事呢？

材料力学^[2]计算就从理论上解决了这一问题，在扭转过程中，柱的一端将绕纵轴对另一端旋转。如果总扭转角很小，那么柱的长度和其半径均不改变。设柱的左端固

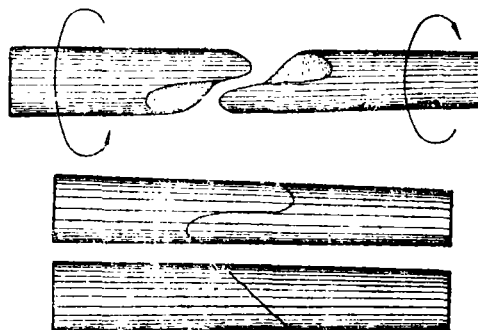


图4 粉笔扭转破裂形成的曲面

定,那么右端将对左端旋转 ϕ 角(图5)。同时柱面上的纵线,如线 nn' ,将转过很小的角变到 nn' 位置处,柱表面上的矩形单元 $abcd$ 变为长菱形 $ab'cd'$ 。图中圆盘形部分是从柱中切出来的。在此旋转中,角点处的角度不再等于 90° ,该单元处于纯剪状态,剪切应力 γ 的大小等于 $\angle bdc$ 的减小。此减小角为 $\gamma = bb'/ab$ (1)

距离 bb' 为半径 γ 所张 $d\phi$ 角的微小圆弧长度,其 $d\phi$ 为一截面对另一截面的旋转角。因此我们求得 $bb' = \gamma d\phi$ 。此外,距离 ab 等于单元的长度 dx ,故得 $\gamma = \gamma d\phi/dx$ (2)

当柱受纯剪时,其扭转角的变化率 $d\phi/dx$ 沿柱的长度为一常数。根据剪切时的虎克定律方程: $\tau = G\gamma$ (式中 G 为弹性剪切模量),其剪应力值为 $\tau = G\gamma = G\gamma d\phi/dx$ (3)

因为平面断面变形后仍为平面,圆柱半径仍为直线,所以与轴心距离为 ρ 的任意点的剪切应力为 $\tau_\rho = \rho G d\phi/dx$ (4)

由(3)和(4)得: $\tau/\tau_\rho = \gamma/\rho$ (5)

上式说明在横断面上,任何一点的切应力与该点到轴心的距离成正比。根据切应力互等定律,在包含轴心的纵断面上,也必定作用着切应力,并且也与任一点到轴心的距离成正比。在柱轴线上,切应力等于零(图6),这就证明了在圆柱轴线附近最不易形成裂隙。因此,这一反 S 形脉带中部应是轴线通过处,向下,离开了轴线,矿脉条数和总厚度都得增加。

形成这一反 S 形脉带的圆柱走向为北西,圆柱轴线与水平面的夹角略小于山坡坡

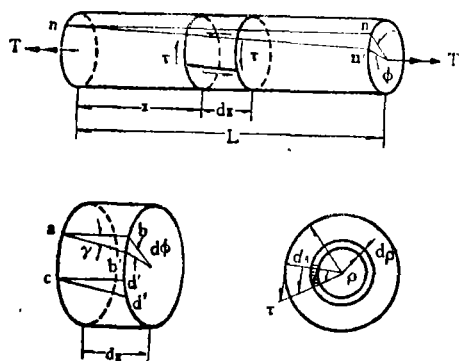


图5 受纯扭的圆柱
(据 S. 铁木辛柯)

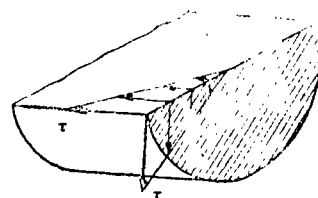


图6 受扭转的圆柱纵向剪应力
(据 S. 铁木辛柯)

度,接近水平。引起扭转的动力来源于二条北东向断裂的挤压扭转。这二条断裂都是成矿前断裂,成矿时又有强烈活动。在扭转时,因断裂面上的挤压磨擦力使二断裂之间的岩块跟着扭转。脉带下部隐伏花岗岩顶板与表露花岗岩表面(图2),正好呈一弧形弯曲的二分之一卷筒,在这样的边界条件下,有利于造成柱状扭转,但也正因为有隐伏花岗岩这一不同的岩石,又限制了反 S 形脉带向下的延伸深度。

还需要指出,由于圆柱两端还有压应力,因而裂隙与圆柱轴线的交角要小于 45° ,并且造成脉带内单体石英脉在平面上呈右形排列,在剖面呈后形排列的现象。实验中的圆柱是有界面的,而形成反 S 形脉带的圆柱是无界的、虚拟的(在图1中用虚线表示)。因此,扭转时不象粉笔一样仅形成一条裂隙,而是形成一条撒开的脉带。当沿着与圆柱轴线成略小于 45° 方向形成螺旋状裂隙后,有了这组裂隙,边界条件改变了,继续扭转时,产生了应力集中的现象。在扭转作用下,裂隙从下向上发展,不再按 45° 螺旋方向。当螺旋形裂隙回旋了不到 360° 时,螺旋形裂隙的两端即沟通,造成了与螺旋形裂隙连续的,但走向接近于平行圆柱轴线的裂隙,形成了极为完美的反 S 形裂隙带。

张礼明同志为本文消绘了附图,特此致谢。

参考文献

- [1] 谢少华, 1974, 某石英脉型黑钨矿的矿床构造, 《地质科学》, 1974年, 第一期
- [2] S. 铁木辛柯, J. 盖尔, 1972, 《材料力学》, 科学出版社, 1978