

宁夏南华山—西华山大型韧性剪切带特征

阎志强 李天斌

(宁夏地矿局区域地质调查队)

摘要 地处北祁连山东段的南华山—西华山大型韧性剪切带,发育于中元古界变质岩系中。在中、晚元古代曾发生两期大规模推覆剪切作用,早期为自南东向北西的低角度顺层(片)剪切,晚期大体为由南向北的中角度推覆。测试资料表明,其形成于地壳中、深层次中高压构造环境,推测与板块间的挤压—俯冲有关。该剪切带的发现及初步研究表明,南华山—西华山—黄家洼山一线可能存在一条中、晚元古代板块聚合带。

关键词 宁夏,南华山—西华山,韧性剪切带,中、晚元古代,板块聚合带

南华山—西华山(以下简称南—西华山)韧性推覆剪切带,位于北祁连山东段。呈北西向(约 305°)带状展布于宁夏海原县南华山、西华山,向西延至甘肃省黄家洼山,几乎包括了一线排列的3个断块山山体。宽5 km—8 km,长逾100 km(图1)。剪切带发育于中元古界长城系、蓟县系中,这是一套遭多期变形变质的绿片岩相—绿帘角闪岩相变质岩,受强烈韧性剪切作用,多发生不同程度糜棱岩化。初步研究认为,该韧性剪切带为西华山(可能还有黄家洼山)金矿化的重要控矿因素之一。

第一作者简介:阎志强,男,48岁,1962年从北京地质学校毕业,成都地质学院进修结业。地质工程师,现在宁夏地矿局区域地质调查队从事区调工作,任分队长、技术负责。(宁夏·贺兰)

收稿日期:1991—05—24

参 考 文 献

- 1 涂光炽等.中国层控矿床地球化学.科学出版社,1984
- 2 中国地质科学院沈阳地质矿产研究所编.中国金矿主要类型区域成矿条件文集(豫陕小秦岭地区).地质出版社,1989
- 3 栾世伟等.金矿地质及找矿方法.四川科学技术出版社,1987
- 4 宫同伦.论动力成矿作用.西安地质学院学报,1987,9(11)
- 5 杨开庆.论地壳物质构造的运动调整作用.地质力学研究所所刊,1986(7)
- 6 胡正国.太古宙岩石中金富集的地壳动力学条件.地质与勘探,1988,24(6)
- 7 胡正国、钱壮志.陕西潼峪金矿床的形成机理.地质学报,1990(2)
- 8 涂怀奎.秦巴山区金矿分布及金矿层与金活化的讨论.矿产与地质,1990(3)
- 9 阎军.陕西洛南葫芦沟剪切带型金矿的构造变形特征及动力成矿作用模式研究.西安地质矿产研究所所刊,1991,第31号

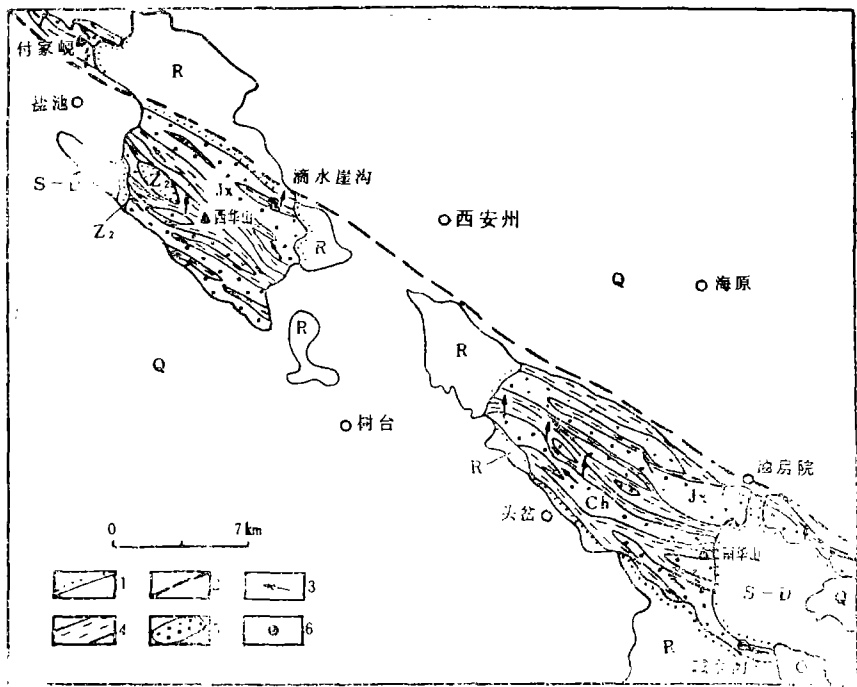


图 1 南华山—西华山韧性剪切带地质略图

Ch, 长城系; Jx, 蓟县系; Z₂, 上震旦统; S—D, 志留—泥盆系; R, 第三系; Q, 第四系; 1, 沉积不整合界线; 2, 主剪面及隐伏主剪面; 3, 拉伸线理 (指向剪切方向); 4, 韧性剪切带强应变带 (晚期); 5, 韧性剪切带弱应变带 (晚期); 6, 剪切透镜体有限应变测量点

1 韧性剪切带的基本特征

1.1 两期韧性剪切现象

南—西华山韧性剪切带曾经历中、晚元古代早、晚两期韧性剪切作用, 并遭到晚元古晚期—新生代的多次脆性构造叠加和强烈改造, 面貌发生了较大的变化。但通过对该带各种尺度的褶皱样式、面状、线状构造要素的几何学、运动学及动力学分析, 结合有限应变测量和显微构造研究, 仍可对此两期韧性变形现象作出大体筛分, 并分别判定其剪切带的几何形态和产状特征。

1.1.1 早期韧性剪切: 剪切带产状平缓, 波状起伏, 在南华山基本向南东缓倾, 倾向 130°—160°, 倾角 10°—35°; 在西华山向北西缓倾, 倾向 290°—340°, 倾角 5°—20°。宏观及微观指向标志显示, 该期为自南东向北西的顺层 (片) 推覆剪切。剪切变形现象广泛发育于南、西华山各地, 因角变低缓, 地表应变强弱分带性不甚明显, 但总体有由南东向北西渐强之势。该期韧性变形可分为渐进的两个阶段。第一阶段为深部构造层次压扁、剪切造成的紧闭同斜倒转褶皱变形, 露头尺度上表现为片内无根钩状褶皱。以原生层理 (S₀) 为主要变形面, 构造置换强烈, 发育透入性轴面流劈理——片理。形成构造原理 (S₁) 及早期变质分异条带。

第二阶段为第一阶段的递进变形, 是在地壳深部以韧性剪切和塑性流变机制形成韧性剪切带,

沿第一阶段的构造层理发育,并进一步强化早期面理及变质分异条带。

1.1.2 晚期韧性剪切:剪切带大致平行于南、西华山山体,宽5km—8km,向南中等倾斜,倾向 160° — 220° ,倾角 30° — 60° 。由于先成面理的控制和后期构造的干扰,产状变化较大。带内各部位应变强度不等,自北而南呈条带状的强应变带与呈透镜状、带状弱应变域相间排列,构成复合式韧性剪切带,其中强应变带一般宽0.2km—1.5km。南、西华山东麓山前及南华山中央分水岭一带,各发育一条主剪面,主剪面附近各种剪切变形现象尤为强烈。大量指向标志表明,该期属由南向北的推覆型韧性剪切。韧性变形强度自南而北略显增强趋势。晚期韧性剪切作用在早期韧性剪切变形基础上,于地壳中、深部形成特征相似的大型韧性推覆剪切带,唯推覆方向略有偏转,剪切带倾角增大。

1.2 宏观构造特征

南—西华山韧性剪切带内广泛发育与韧性剪切变形有关的各种宏观构造现象如下。

1.2.1 面状构造——S—C组构:韧性剪切沿先成的构造层理发育,进一步强化早期面理和变质分异条带,构成宏观的C面理,与剪切带边界平行,代表剪切面理。随着韧性剪切作用的加强,此类条带发生剪切变形。形成不对称褶皱,其轴面与C面理小角度斜交以至近于平行,这些轴面代表剪切带内各应变椭球体压扁面,构成宏观的S面理,它与C面理一起形成S—C面状组构(图2)。据S—C组构之锐夹角的统计资料,早、晚二期剪切方向分

别为自南东向北西和由南向北推覆剪切。

1.2.2 线状构造:带内广泛发育矿物拉伸线理,表现为劈理面上白云母、黑云母、绿泥石、阳起石等矿物集合体,以及长石、石英、绿帘石等粒状矿物的拉长定向排列,为一种a线理,代表剪切运动矢量。产状变化大,早期剪切拉伸线理走向 290° — 350° ,其优选方位倾向 336° ,倾角 19° ,次优选方位为倾向 167° ,倾角 30° ;晚期剪切的拉伸线理为倾向 160° — 220° ,倾角 30° — 70° ,平均为倾向 193° ,倾角 37° 。在南、西华山东麓主剪面附近,因后期脆性断裂强烈改造,其线理时向北陡倾。

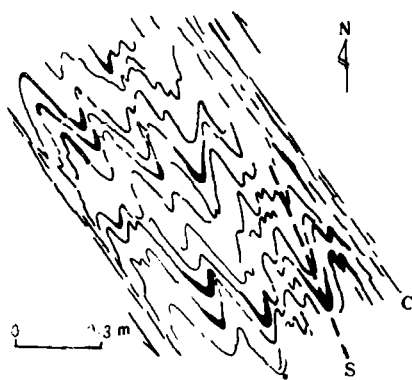


图2 泉儿沟碳酸盐质糜棱岩宏观S—C组构平面素描图

大型线状构造主要表现为透镜体、石香肠的长轴定向排列及窗棂构造,其延长方向与面上的拉伸线理一致,属粗大的a线理。

1.2.3 褶皱构造:韧性剪切带中广泛发育剪切褶皱。早、晚两期剪切所形成的褶皱仅轴向有所差异,早期枢纽通常向北西或南东缓倾,晚期褶皱枢纽多向南倾斜。而形态基本相似,均表现为成分层的再褶皱。褶皱具塑性流变特征,强烈不对称,一翼很长,另一翼较短,转折端加厚,长翼拉长减薄。其轴面与剪切带边界或C面理小角度相交,或近于平行,沿C面理见矿物拉伸线理与枢纽方向一致,为a型褶皱。规模较小,x轴长仅数十厘米。在韧性变形强烈地段发育典型的鞘褶皱,其在xy面上呈舌状,发育拉伸线理并平行褶皱枢纽,一

般延伸 0.5 m—5 m, 在 yz 面上呈椭圆形或半圈闭的“ Ω ”状, 截面约 $0.1 \times 0.2 \text{ m}$ — $1.5 \times 2.5 \text{ m}$ 。

1.2.4 剪切透镜体构造：韧性剪切沿变质分异条带发育, 石英条带等强硬层可因剪切作用而出现膨缩现象, 甚至拉断成石香肠或透镜体, 且常发生不同程度的旋转, 其长轴方向与矿物拉伸线理一致。

1.3 糜棱岩类特征

南—西华山韧性剪切带内中元古界各类岩石均不同程度遭受韧性变形, 广泛发育长英质、碳酸盐质和基性糜棱岩类岩石。早、晚两期糜棱岩难以详细区分。在晚期剪切的强应变带, 自边缘向中央随着应变强度的渐增, 常依次出现糜棱岩化岩石—初糜岩—糜棱岩—变晶糜棱岩、构造片岩。这些糜棱岩类岩石宏观上常具条带状构造, 表现为层状硅酸盐矿物(绿泥石、白云母)与粒状矿物(石英、长石、白云石)分别聚集成颜色及成分不同的条带, 彼此相间平行排列。发育糜棱面理——叶理, 面理上常见矿物拉伸线理。带中的粒状矿物及其集合体多呈拉长状或透镜状, 部分透镜状集合体因剪切而发生旋转拖尾变形, 可指示剪切方向。微观上, 两期糜棱岩类岩石变形特征基本相似, 唯晚期更明显而已。强烈的韧性变形主要表现为塑性流动构造发育, 具残斑结构(残碎斑晶主要为石英、斜长石)及糜棱构造。石英、长石颗粒内常发育波状、带状消光, 以及由这些颗粒晶体内部不同消光的域显示出出来的亚颗粒, 从而使颗粒细化, 粒径在 0.3 mm — 0.02 mm 之间, 一般小于 0.1 mm 。石英、长石晶带或集合体呈拔丝状、丝带状波状弯曲, 云母呈鱼形弯曲, 形成韧流构造。碳酸盐质糜棱岩中机械双晶发育。重结晶显著, 主要为动态重结晶, 石英、长石颗粒边缘呈锯齿状镶嵌, 具拉长和压扁。剪切带内有少量长英质糜棱岩发生静态重结晶, 形成变晶糜棱岩, 石英颗粒增大, 边缘取直, 呈多边形等粒结构, 定向性减弱。在较强应变的糜棱岩中, 石英及部分长石时具核幔构造。矿物晶体常发生形态及体积的变化, 表现为矿物的拉长、压扁, 呈透镜状或眼球状, 长宽比达 $3:1$ — $6:1$ 。有的发生旋转变形, 表现为云母、绿泥石等片状矿物的 S 形弯曲, 长石、石英的曲颈状构造; 强硬矿物碎斑, 如长石、石英、绿帘石、白云石、方解石及其集合体形成不对称的旋转碎斑系。有时发育黄铁矿不对称压力影构造, 以及由于长石、石英等颗粒组成的条带相对韧性基质发生韧性固态流动, 而形成的强烈不对称显微拖褶皱, 其轴面与剪切面理斜交。

值得指出的是, 南—西华山韧性剪切带岩石中微观 S—C 面状组构极其发育, 与宏观 S—C 组构不同处在于微观的 S 面理为新生的劈理面, 表现为层状硅酸盐矿物和一些拉长的粒状矿物定向排列所构成的不连续面状构造, 它与 C 面理有很小的交角 ($< 20^\circ$) 或近于平行 (主要在强应变带中), 其锐夹角指示剪切方向。此外, 镜下常可见两期糜棱岩化的叠加, 表现为两组糜棱面理的斜交, 即两组 S—C 组构的交切, 其方向表现出与宏观构造的明显一致性。据糜棱岩类岩石中矿物旋转变形、压力影、显微拖褶皱及 S—C 组构等显微构造, 对剪切指向的分析, 与宏观构造判定结果一致。

2 韧性剪切带的变形机制和条件

在韧性剪切带的变形机制研究中,利用应变椭球体的方法已被实践证明是有效的。南一西华山韧性剪切带中大量发育剪切透镜体,它们在变形前可被认为是相对无限延伸的分异条带中均匀分布的有限单元集合体,故其应变值可通过直接测量透镜体三主轴长求得。据对该剪切带早、晚两期透镜体分别选点(早期:南华山碱水沟;晚期:西华山滴水崖沟)测量,采用 Ramsay 的长短轴法、Robin 法、算术平均法及调和平均法进行二维应变测算(表1)。结果一致表明,早期韧性变形 Flinn 参数 $K=0.72-0.83$, 罗德系数 $r=0.07-0.13$, 基本属简单剪切(兼有压扁)应变机制;晚期韧性变形 $K=0.71-0.87$, $r=0.05-0.13$, 更近于简单剪切机制。

表 2 构造透镜体有限应变分析结果

点 位	方 法	轴 率		主应变大小	主应变方位	自然应变轴率		Flinn	自然应变	罗德系数
		R _{xy}	R _{yz}	X:Y:Z	XY面	$\ln \frac{X}{Y}$	$\ln \frac{X}{Z}$	参数(K)	系数($\bar{\epsilon}_s$)	(γ)
南华山 碱水沟 (13)*	长短轴法	1.66	1.80	1.66:1:0.56	0°∠59° (13个极点 投影)	0.51	0.59	0.83	0.78	0.07
	Robin法	1.60	1.81	1.60:1:0.55		0.47	0.59	0.75	0.75	0.12
	算术平均法	1.61	1.85	1.61:1:0.54		0.48	0.61	0.72	0.77	0.13
	调和平均法	1.60	1.78	1.60:1:0.56		0.47	0.58	0.77	0.74	0.10
西华山 滴水崖沟 (51)*	长短轴法	1.70	1.80	1.70:1:0.56	242°∠70° (51个极点 投影)	0.53	0.59	0.87	0.79	0.05
	Robin法	1.62	1.85	1.62:1:0.54		0.48	0.62	0.73	0.78	0.12
	算术平均法	1.64	1.90	1.64:1:0.53		0.49	0.64	0.71	0.81	0.13
	调和平均法	1.60	1.81	1.60:1:0.55		0.47	0.59	0.75	0.75	0.11

* 括号中的数字代表测点数。

南一西华山韧性剪切带糜棱岩类中普遍含多硅白云母,据笔者采样经长春地院电子探针和 X 光分析,多硅白云母 SiO_2 含量达 50.507%—51.210%,结构式中 $\text{Si}=3.378-3.394$, $b_o=9.054\text{Å}-9.059\text{Å}$ ($b_o>9.040\text{Å}$ 为高压相系)。又据白云母—绿泥石矿物对计算温度(Kotob,1975图解法)和白云母成分估算温压条件(Iambev,1959,曲线图解;Velde,1967,曲线图解),求得该带糜棱岩类变形变质温、压数值 $T=300^\circ\text{C}-350^\circ\text{C}$, $P=3.5\text{ kbar}-4.4\text{ kbar}$ 。测试资料表明,南一西华山韧性剪切带形成于较低温度下的中、高压变质相系条件。将上述变质温、压数据分别投入 Miyashiro(1973)图解^①等多种压力—温度—深度图表,均求得剪切带形成深度约为 13 km—17 km,相当 Mattauer (1980)所划分的下构造层。

3 韧性剪切带的动力学模式

近年对古山链中许多大型韧性剪切带的研究表明,它们的生成往往与板块运动过程(俯

① 从柏林,1977,岩浆活动与变质作用。

冲或仰冲,碰撞阶段)中或板内运动中产生的深部简单剪切机制有关。无论是洋—陆俯(仰)冲,抑或陆—陆碰撞,在其板块聚合带,都将表现为构造变形的高应变带。聚合带的地壳浅部在挤压应力下,可产生脆性的推覆构造;而在地壳中、深层次,则以发育大规模韧性推覆剪切带或韧性平移剪切带为特征。

南—西华山韧性剪切带发育于中元古界变质岩系中。该岩系特别是其下部长城系中夹有厚度巨大的以基性火山岩为原岩的绿片岩,据野外宏观特征及常量成分、微量元素图解分析,稀土配分模式(轻度富集型)以及 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 初始值(0.703—0.707)等资料研究,它们属大洋拉斑玄武岩。与此类玄武岩相伴生,有大量原岩可能为辉绿岩的变质基性岩床、岩墙,以及较多的呈明显构造侵位的透镜状、豆荚状蛇纹岩岩片,它们与围岩经历了相似的韧性变形。各项特征表明,南、西华山中元古界变质岩为一套含有蛇绿岩套的俯冲杂岩体。南—西华山韧性推覆剪切带,正是在板块挤压—俯冲过程中的中、高压环境里,中元古界地层(后发展为俯冲杂岩)在地壳中、深层次简单剪切条件下强烈变形、变质的产物。

笔者认为,西宁—兰州微板块、柴达木微板块与华北板块在中元古代前连为一体的统一古板块。自中元古代,由于祁(连山)—秦(岭)—贺(兰山)三叉裂谷系的产生而彼此拉张分裂,在西宁—兰州微板块与华北板块之间逐渐发育成北祁连窄洋,南、西华山中元古代蛇绿岩套即为其洋壳残片。中元古代末期,这一拉张系统转变为挤压体系,继而北祁连洋壳开始向南侧西宁—兰州微板块下俯冲,断面南倾的南华山、西华山、黄家洼山北麓山前超壳深大断裂,可能代表了这条中、晚元古代板块俯冲带的东部段落。推测其南侧(上盘)著名的甘肃白银一带的岛弧型含矿火山岩系,很可能代表了西宁—兰州微板块北侧外缘的同期火山岛弧沉积(据1990.9.24中国地质矿产报,在白银地区含矿火山岩系之上发现有震旦系不整合覆盖)。结合其岩石组合、变质程度等分析,笔者认为该岛弧火山岩的时代,很可能属中、晚元古代。据笔者等在南—西华山韧性剪切带糜棱岩(原岩为基性火山岩)中所测定的变质年龄为 $1128 \pm 209 \text{ Ma}$ 和 $800 \pm 40 \text{ Ma}$ (Rb—Sr全岩等时线,宜昌地质矿产研究所测定),以及霍福臣、郑昭昌在南华山绿片岩中取样测得的 $1020 \pm 106 \text{ Ma}$ 年龄值分析,挤压体系的出现很可能在1100 Ma左右,板块俯冲约始于1000 Ma左右的四堡期,而在800 Ma左右的晋宁期后俯冲终止,西宁—兰州微板块与华北板块碰撞拼接。

在挤压体系形成初期,由于北西—南东向挤压沿着倾角平缓、波状起伏的主剪面,发生了上层相对向北西推覆的基本顺片的早期韧性剪切,此时板块俯冲可能尚未开始。在洋壳俯冲的强烈阶段,产生了剪切面南倾、向北推覆的晚期韧性剪切作用,其剪切面产状与俯冲带基本一致。值得指出的是,晚期与早期剪切相比,推覆方向由北西向偏转为近南北向,这可能与应力场或板块边界条件的变化有关。

角度不整合覆于南—西华山韧性剪切带之上的上震旦统文常山群,为一套碰撞造山晚期的磨拉石建造和板块拼合后的滨海相沉积,富含下伏韧性剪切带的糜棱岩类碎屑,基本未变质,无丝毫韧性变形迹象。此现象为该韧性剪切带的形成时间——中、晚元古代提供了明确的时间上限。

新疆阿尔泰喀拉通克硫化铜镍矿区 构造特征及应力场分析

黄继钧

(成都地质学院)

摘要 喀拉通克硫化铜镍矿区位于多个构造体系复合部位,为一褶皱和断裂组成的挤压破碎带,构造十分复杂、特殊。文中对其进行了详细讨论,并对构造体系进行了划分,就各构造体系生成发展过程作了较系统的研究,并采用非线性有限单元法对各期构造变形时应力场特征进行了计算。

关键词 喀拉通克硫化铜镍,挤压破碎带,额尔齐斯大断裂,应力分析

喀拉通克硫化铜镍矿区位于新疆阿尔泰地区,由4个矿床组成,其中以1号矿体为主,居于我国同类矿床的第2位,其品位高、矿体大是国内外少见的。

收稿日期:1990—12—05

4 结 论

(1)南—西华山大型韧性剪切带在中、晚元古代曾发生两期大规模推覆剪切作用:早期为自南东向北西的低角度顺层(片)推覆,估计与区域性挤压体制的出现有关;晚期大体为由南向北的中角度推覆,系北祁连洋壳向南侧西宁—兰州微板块陆壳下俯冲作用所致。

(2)岩矿测试资料表明,该韧性剪切带形成深度约13 km—17 km,温度 $T=300^{\circ}\text{C}$ — 350°C ,压力 $P=3.5\text{ kbar}$ — 4.4 kbar ,属地壳中、深层次中、高压构造环境。

(3)该韧性推覆剪切带的发现及研究表明,南华山—西华山—黄家洼山一线存在一条距今约1100 Ma—800 Ma左右的板块聚合带,揭示祁连山地区的板块活动史,起码可上溯至中、晚元古代。

在对南—西华山韧性剪切带的调查研究中,本队实验室牛国荃、王平同志给予密切合作,并参加了部分野外调查、提供了大量镜下鉴定资料;甘肃区调队李跃敏同志和西安地质学院胡能高老师、长春地质学院叶慧文老师给予了热情指导帮助,谨此深表谢意。

参 考 文 献

- 1 游振东、王方正.变质岩岩石学教程.中国地质大学出版社,1988
- 2 郑亚东、常志忠.岩石有限应变测量与韧性剪切带.地质出版社,1985
- 3 许志琴.地壳变形与显微构造.地质出版社,1984