文章编号: 1009-3850(2001) 02-0048-09

## 云南雪龙山韧性剪切带研究新进展

孙志明, 李兴振, 沈敢富, 杜德勋, 江新胜

(成都地质矿产研究所,四川成都 610082;)

摘要:雪龙山变质带,变质级别达高绿片岩相到低角闪岩相,在区域上为一条韧性剪切带,具逆 冲兼左行走滑的特点,左行走滑位移量达9.4km。流体包裹体研究表明,在韧性剪切阶段,属降 温的退变质作用;构造地球化学研究表明,韧性剪切作用对元素的迁移和富集有较大影响。因 此,对构造变形带中元素迁移富集规律的研究,对于探明矿床形成和指导找矿具有重要的理论 意义和实际意义。

# Advances in the research on the Xuelongshan ductile shear zone in Yunnan

SUN Zhi-ming, LI Xing-zhen, SHEN Gan-fu, DU De-xun, JIANG Xinsheng

(Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Chengdu 610082, Sichuan, China)

**Abstract:** The metamorphic facies of the Xuelongshan metamorphic zone in Yunnan vary from the higher green schist facies to lower amphibolite facies. Regionally the metamorphic zone is considered to be a ductile shear zone characteristic of thrusting and left-lateral slipping with a displacement distance of 9.4 km. The decrease in temperatures and pressures during the ductie shearing as indicated by fluid inclusion data suggests a retrogressive metamorphism of the ductile shear zone. The structural-

收稿日期: 2001-03-19

geochemical approaches also show that the ductile shearing might have exerted an important effect on the migration and enrichment of various elements. Therefore the studies of migration and enrichment of the elements in the tectonically deformed zones are definitely of theoretical and practical values to the prospecting and exploration of ore deposits in the study area.

Key words: Xuelongshan metamorphic zone; ductile shear zone; fluid inclusion; structural geochemistry

雪龙山变质带前人研究较多<sup>[1~4]</sup>,但大多将其定位于前寒武纪的古老变质岩系,经过笔 者研究,认为其归属于德钦-维西-乔后逆冲推覆前锋断裂带的一部分<sup>[5]</sup>。德钦-维西-乔后逆 冲推覆前锋断裂带在维西一乔后一带,表现为左行走滑,向北可延入藏东江达字嘎寺以北至 青海境内,雪龙山变质带被卷入其中。该逆冲推覆前锋断裂带在不同地段出露的变形层次 不同,以雪龙山变质带的变形层次最深,达中深变质程度,德钦地区变质前泥盆系次之,上兰 -乔后一带变形层次更浅一些。运动的性质各段也不一样,德钦-维西-乔后段表现为逆冲兼 左行走滑,德钦至芒康海通灵芒桥一段主要表现为逆冲推覆。

#### 1 岩石学及显微构造特征

在雪龙山变质带, 变质级别达高绿片岩相到低角闪岩相, 糜棱岩发育, 相当一部分是由 花岗岩受韧性剪切形成的长英质糜棱岩, 其次有角闪片岩、云母片岩、大理岩, 均糜棱岩化。 在25km 以北一带为超糜棱岩带(图1)。在露头尺度上, 可见到糜棱岩面理(照片1)、拉伸线 理、糜棱岩碎斑(图2), 石香肠构造、流变褶皱、碎斑构造(图3), 石英和长石碎斑的压力影 等, 在显微镜下, 可见到石英的核幔构造、S-C 组构、云母鱼、长石和石英碎斑及其压力影(照 片2, 3), 石英的带状消光, 矩型石英条带构造。斜长石碎斑中充填有石英脉体及碎斑中的书 斜构造/多米诺骨牌构造。定向薄片中的S-C 组构、流变褶曲和碎斑的压力影指示为左行走 滑, 但早期为右行走滑。在兰坪河玉狮热来雪龙山变质带有早期形成的倾竖褶皱, 倾竖褶皱 (轴面产状为 170°∠68°) 被后期左行走滑形成的糜棱岩面理(NNW 走向) 所横切。

从雪龙山变质带/韧性剪切带的南西向北东,其变化趋势由初糜棱岩→糜棱岩化→糜棱 岩→超糜棱岩转变,其碎斑/眼球体由大变小,糜棱岩面理形成的纹理逐渐变得细密,S-C 组 构的 S 面及其与 C 面之间的夹角(剪切角)由大变小,最后趋于消失。剪切应变值也由小变 大(表 3),通过应用 S-C 组构剪切角计算出的左行走滑位移量为 4.7km(图 4)。根据韧性剪 切带糜棱岩化程度一般为中部强,边部弱的对称性特点,断定雪龙山韧性剪切带仅出露其一 半左右,即仅出露其西南部,而东北部则完全被断失。因西南边缘向南西逆冲在第三系云龙 组之上,部分初糜棱岩带已断失,北东边缘与上三叠统上兰组(灰岩)也呈断层接触,断失了 中心带北东侧的另一半(图 1)。如果以整个糜棱岩带的厚度来计算其位移量,其左行滑移距 离应在9.4km以上。





照片 1 雪龙山韧性剪切带中黑云母片岩的糜棱岩面理及 S-C 组构

Photograph 1 Foliation and S-C fabrics observed in mylonites from biotite schist in the Xuelongshan ductile shear zone

## 2 流体包裹体

流体包裹体研究表明,在韧性剪切阶段,温度和压力由糜棱岩带边缘向中心,均逐渐降低。温度由670℃降到490℃,降低近200℃,压力由4800×10<sup>5</sup>Pa降到4150×10<sup>5</sup>Pa。变质作 用阶段温度高于韧性剪切变形时的温度,表明该地区的韧性剪切是降温的退变质作用。同 时角闪石受到韧性剪切,形成残斑系,表明该韧性剪切带形成于高绿片岩-低角闪岩相。而 斜长石中的张性裂隙,反映其为脆性变形,其变形环境又末达到高绿片岩-低角闪岩相,似乎 暗示有多次活动。长石碎斑中的点状云母,反映有退变质现象。

## 3 构造地球化学

研究区的退变质作用,不仅在岩相学方面表现突出,而且在构造地球化学上、矿物化学和岩石化学方面也显示了明显的成分变化(图 5,6)。表 1,表 2 中所列各类岩石的化学成分 是沿垂直于韧性剪切带由西向东依次取样分析的结果,构成了一个韧性剪切带变质变形的 岩石化学剖面。从表中和图 5、图 6 中可以看出从边缘带到中心带有如下一些变化特点和规 律:①SiO2 和 Al2O3 变化不大,显示较稳定的化学特征;②K2O 呈现略有增加之势,在变形强 的带内变化不大;③Na2O 略显降低;④MnO 和 MgO, FeO 和 CaO 变化相对较大,总体呈现





#### 图 2 维西雪龙山糜棱岩的碎斑构造

Fig. 2 Porphyrodastic structures obseved in the Xuelongshan mylonites in Weixi

图 3 维西雪龙山糜棱岩中流变褶曲 Fig. 3 Rheomorphic folds observed in the Xuelong-

shan mylonites in Weixi



Fig. 4 Plot showing r versus x curve for the Xuelongshan metamorphic zone

增加的趋势,这些性质相近的元素,变化趋势相同。表明这些主元素在韧性剪切变形过程中 有较明显的迁移和变化,即被流体携带在变形较强部位产生富集。微量元素在构造变形过 程中也具有明显的变化规律,表2和图5给出了几个主要微量元素的含量变化。按元素的 地球化学习性,分为亲石元素,包括Sr,Ba等;亲铜元素,包括Cu,Pb和Zn;亲铁元素,包括 Cr,Ni,Co和V。由于各类元素的地球化学性质相近,在构造变形中也应具类似的迁移和富 集规律。亲石元素Ba和Sr显示较为相似的变化规律,从图4中可以看出,Ba总体上呈现增 加趋势,而Sr变化不太明显。它们均在28号标本附近有一个较明显的负异常(?),这可与

$\sim$
%
W.B
$\sim$
表
5
斑
犷
Ľ
Ĥ
괛
粔
寅
変
-
4
12
-
表

		Table 1	Chemical o	ompositions	s of the roc	ks from th	e Xuelongsl	han metam	orphic zon	e ( w <sub>B</sub> /% )			
样品号	岩石名称	SiO <sub>2</sub>	<sup>z</sup> OiT	Al₂O3	Fe <sub>2</sub> O3	FeO	MnO	MgO	CªO	Na <sub>2</sub> O	K₂O	P2O5	烧失量
Cgr-9	糜棱岩化花岗岩	73.25	0.09	14.84	0.49	0.5	0.02	0.16	0.76	4.26	4.12	0.04	0.78
Cgr-12	糜梭岩化花岗岩	59.47	0.81	15.56	1.57	4.22	0.12	3.14	5.48	4.23	1.73	0.30	2.83
Cgr-19	糜梭岩化花岗岩	70.74	0.26	13.40	1.67	1.83	0.10	1.20	4.50	1.73	3.46	0.12	0.96
Cgr-23	糜梭岩化花岗岩	81.88	0.19	10.66	0.70	0.71	0.00	0.40	0.40	1.94	1.96	0.05	1.19
Cgr-24	糜棱岩化花岗岩	78.31	0.32	12.70	2.10	0.67	0.01	0.10	0.10	0.85	2.98	0.02	1.85
Cgr-28	糜棱岩化花岗岩	77.00	0.11	13.07	0.70	1.37	0.03	0.10	0.64	4.50	1.74	0.02	0.86
Cgr-31	糜棱岩化花岗岩	65.32	0.71	16.02	0.70	4.17	0.08	1.56	2.44	4.23	2.30	0.17	1.60
Cgr-33	花岗岩质糜梭岩	73.52	0.18	14.01	0.62	0.63	0.03	0.20	1.00	3.26	5.20	0.07	0.58
Cgr-37	花岗岩质糜棱岩	70.88	0.33	14.30	1.09	1.94	0.06	0.80	2.16	3.93	3.54	0.12	0.72
Cgr-42	花岗岩质摩棱岩	71.60	0.33	13.75	0.70	2.08	0.06	0.80	2.24	3.62	3.46	0.11	0.69
Cgr45	花岗岩质糜棱岩	74.55	0.28	12.26	0.48	1.55	0.04	0.44	1.36	3.00	4.48	0.08	0.61
Cgr-46	花岗岩质糜棱岩	74.60	0.28	13.08	0.50	1.45	0.04	0.40	1.20	3.02	4.39	0.08	0.68
Cgr-52	斜长角闪片岩	49.22	0.82	15.57	0.92	8.10	0.17	7.94	10.27	2.06	1.22	0.11	2.93
Cgr-55	斜长角闪片岩	49.30	0.97	15.48	1.39	8.42	0.24	8.44	11.22	1.50	0.60	0.10	2.93
Cgr-56	黑云母片岩	<b>66.54</b>	0.78	16.27	1.10	3.97	0.04	2.00	· 0.64	0.99	4.30	0.16	1.56
Cgr-60	花岗岩质摩棱岩	72.66	0.25	12.48	0.10	1.98	0.05	0.32	1.36	2.64	4.84	0.12	2.52
Cgr-64	超康梭岩	74.91	0.28	12.57	1.42	1.28	0.02	0.40	0.76	3.50	4.56	0.12	0.69
Cgr-66	超摩棱岩	72.15	0.31	12.84	0.70	2.36	0.04	0.56	1.56	2.64	4.78	0.13	1.41
Cgr-67	超摩棱岩	73.62	0.24	12.50	0.16	2.08	0.04	0.36	1.44	2.32	5.15	0.11	1.87
Cgr-70	超摩棱岩	72.46	0.32	13.92	0.26	1.95	0.04	0.50	1.84	2.06	5.06	0.16	0.98
Cgr-71	超康棱岩	72.04	0.35	14.09	0.92	1.87	0.04	0.56	1.60	1.50	5.18	0.17	1.22
Cgr-72	超糜棱岩	70.86	0.38	12.90	1.30	3.31	0.05	0.56	1.60	2.94	4.06	0.20	1.35

岩石化学分析由南京大学地球科学系中心实验室测试

2001年(2)

该段的流体活动有关,因为 Sr 和 Ba 与 Ca 呈类质同象,而岩石中 CaO 的含量也存在一个负 异常,这与 Ca 的流失有关。亲铁元素 Cr, Ni, Co 和 V 则具有极其相似的变化规律,从韧性 剪切带西侧边缘带到东侧中心带,这四种元素均有增加的趋势,这可与剪切过程中伴生的黄 铁矿化有关。另外在 Cgr-71 标本附近连续出现几个峰值,且峰值在 Cgr-71 处最大,可能受 断裂作用控制,因为该处出现了一系列晚期的正断层,使元素的变化趋势受到干扰。亲铜元 素 Cu, Pb, Zn 也随应变的增强而出现增加之势,在 Cgr-71 处达到极值,可能也与该处断裂活 动有关。看来本区微量元素的较大幅度的波动变化,都与后期的脆性断裂活动有关,即后期 脆性断裂使元素含量突然增加,这对成矿有一定指示意义,该区也发现一些小型铅锌矿和铅 的矿床(化)点。

Table 2 Trace elements from the Xuelongshan metamorphic zone( $w_{\rm B}/10^{\circ}$ )										
样品号	岩石名称	Ва	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Sr	V	Zn
C gr-9	糜棱岩化花岗岩	352	1.7	27.1	4.0	4.3	25.3	164.0	6.4	44.2
Cg r-28	糜棱岩化花岗岩	238	1.0	10.6	1.8	2.3	8.2	86.5	5.8	11.7
Cg r-33	糜棱岩	650	1.0	9.7	5.2	3.3	37.7	183.0	39.3	1.6
Cg r-37	糜棱岩	630	4.2	11.9	3.4	3.0	20.1	170.1	37.6	66.8
Cg r-45	花岗质糜棱岩	443	2.6	10.9	2.3	3.3	21.2	96.2	21.8	40.5
Cg r-46	糜棱岩	433	2.2	14.3	2.6	3.8	20.2	90.8	23.1	30.1
Cg r-60	花岗岩质糜棱岩	1040	1.1	12.9	1.5	3.1	13.0	100.0	9.9	17.2
Cg r-64	超糜棱岩	1550	2.1	18.0	8.1	4.3	14.9	114.0	13.3	36.4
Cg r-66	超糜棱岩	1610	3.2	18.5	4.4	9.6	31.9	115.0	14.8	57.0
Cg r-67	超糜棱岩	1390	2.2	11.2	5.8	3.8	32.0	113.0	11.4	28.8
Cg r-70	超糜棱岩	821	3.3	20.4	1.9	5.6	23.1	117.0	25.2	47.6
Cg r-71	超糜棱岩	489	12.5	88.8	18.3	30.4	30.7	117.0	90.3	63.5
Cg r-72	超糜棱岩	1860	4.1	24.4	8.2	7.0	15.1	154.0	22.2	45.9

表 2 雪龙山变质带微量元素表(w<sub>B</sub>/10<sup>-6</sup>) ble 2 Trace elements from the Xuelongshan metamorphic zone(w<sub>B</sub>/1

样品由南京大学地球科学系中心实验室测试

#### 表 3 维西雪龙山韧性剪切带剪切应变值

Table 3 Shear strain values for the Xuelongshan ductile shear zone

序号	样品号	岩石名称	剪切应变值/ r	
1	cgr-9	糜棱岩化花岗岩	42 °	0.2
2	cgr-23	糜棱岩化花岗岩	40 °	0.4
3	cgr- 24	糜棱岩化花岗岩	42 °	0.2
4	cgr- 42	花岗质糜棱岩	42 °	0.2
5	cgr-45	花岗质糜棱岩	40 °	0.4
6	cgr-46	花岗质糜棱岩	35 °	0. 73
7	cgr- 56	黑云母片岩	25 °	1.16
8	cgr- 57	花岗质糜棱岩	25 °	1.16
9	cgr-66	超糜棱岩	15 °	3.5
10	cgr- 67	超糜棱岩	10 °	5.5
11	cgr-68	超糜棱岩	10 °	5.5
12	cgr-70	超糜棱岩	10 °	5.5
13	cgr-71	超糜棱岩	10 °	5.5
14	cgr-72	超糜棱岩	5 °	11. 3
15	cgr-73	超糜棱岩	10 °	5.5



照片 2 维西雪龙山糜棱岩中长石碎斑结晶拖尾, 反映左行剪切,显微照片,4×2.5

Photograph 2 Porphyroclastic trails of feldspar from the Xuelongshan mylonites in Weixi. Microphotograph  $4 \times 2.5$ 





照片 3 维西雪龙山糜棱岩中云母鱼,反映左行剪 切,显微照片,4×2.5

Photograph 3 Mica fish from the Xuelongshan mylonites in Weixi. Microphotograph  $4 \times 2.5$ 



图 5 维西雪龙山糜棱岩带中岩石化学变化趋势图 Fig. 5 Diagram showing the variations in the chemical compositions of the rocks from the Xuelongshan

mylonite zone in Weixi

图 6 维西雪龙山糜棱岩带微量元素变化趋势图 Fig. 6 Diagram showing the variations in the trace elements from the Xuelongshan mylonite zone in Weixi

上述构造地球化学特征表明, 在韧性剪切变形带中, 随着构造活动, 元素可发生迁移并 产生一定的富集。某些元素可以富集而形成矿床, 特别是后期脆性变形对元素的富集有较 大影响。如果这个脆性变形是叠加在应变强的中心带上, 对成矿更为有利, 因那里元素比较 富集, 因此, 对构造变形带中元素迁移富集的研究, 对于探明矿床形成和指导找矿, 特别是 Pb, Zn, Cu 矿具有重要的理论意义和实际意义。需要指出的是, 这里未进行找矿学方面的研 究, 未能对金和银的含量变化进行分析。

### 4 结论

雪龙山变质带目前表现为部分断失的韧性剪切带,具左行走滑特点,左行滑移距离应在 9.4km以上。韧性剪切带属降温退变质作用,韧性剪切作用及在流体的参与下对一些主元 素的迁移和变化有较明显的影响。

#### 参考文献:

[1] 云南省地质矿产局.云南省区域地质志[M].北京:地质出版社,1990.

- [2] 尹光侯,张金良,陈四君. 雪龙山变质带研究新进展[J]. 云南地质, 1998, 17(1): 17-26.
- [3] 薛玺会,等. 云南变质杂岩[M].昆明. 云南科学技术出版社, 1989.
- [4] LACASSIN R et al Tertiary deformation and metamorphism SE of Tibet: The folded Tiger-Leap & collement of NW Yunnan, China [J]. Tectonics, 1996, 15(3): 605-622.
- [5] 李兴振,刘文均,王义昭,等.西南三江地区特提斯构造演化与成矿(总论)[M].北京:地质出版社,1999.