

内蒙古苏尼特左旗韧性剪切带研究

高德臻¹, 徐有华²

(1. 中国地质大学, 北京 100083; 2. 赣州南方工业学校, 赣州 341000)

[摘要]通过对韧性剪切带的研究,认为:这些韧性剪切带形成于印支运动,与中朝板块和西伯利亚板块在早二叠世末对接碰撞造山有成生联系。

[关键词]苏尼特左旗 韧性剪切带 印支运动

[中图分类号]P542+.3 [文献标识码]A [文章编号]0495-5331(2000)05-0031-05

内蒙古苏尼特左旗地区位于中朝板块北缘中段。该地区在三叠纪时期发育了一系列韧性剪切变形带。巴彦温都尔—乌拉音敖包即为其中最为典型的一条。

1 宏观展布特征

巴彦温都尔—乌拉音敖包韧性剪切带位于苏尼特左旗正南约4 km。西起巴彦温都尔,总体呈

NE50°~60°方向延伸至乌拉音敖包以西止,全长约20 km,宽1 km~3 km(图1)。

该韧性剪切带所经过的地层主要为下二叠统哲斯组的复成分砾岩、砂岩、灰岩及部分下二叠统大石寨组安山岩、晶屑凝灰岩与印支期二长花岗岩。韧性剪切带本身受到了与海西末期褶皱构造相伴生的NEE向高角度逆冲断层的限制,使其北部与南部均以断层为界,并与未经变形的岩石分割开来。

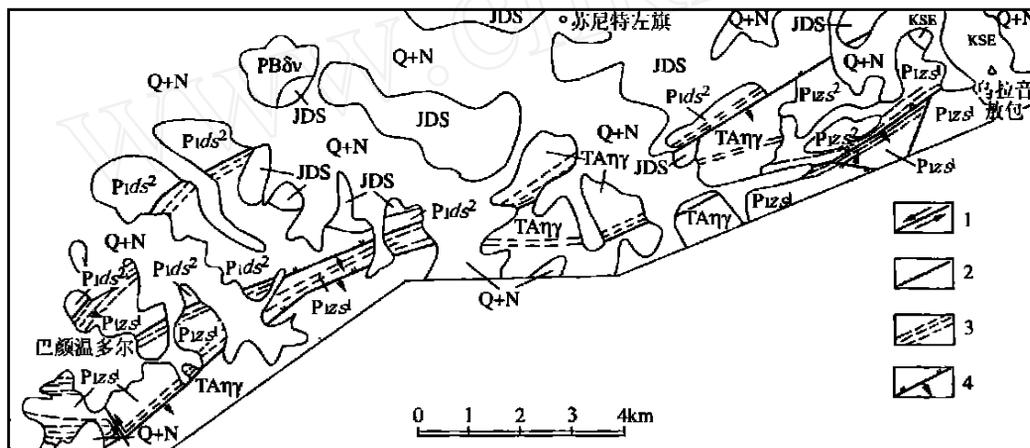


图1 巴彦温都尔—乌拉音敖包韧性剪切带构造图

Q+N—上第三系、第四系;P_{1ds}²—下二叠统哲斯组二段;P_{1ds}¹—下二叠统哲斯组一段;P_{1ds}²—下二叠统大石寨组二段;PD—二叠纪闪长辉石岩;TA—三叠纪二长花岗岩;JDS—侏罗纪二长花岗岩;KSE—白垩纪钾长花岗岩;

1—平移断层;2—性质不明断层;3—韧性剪切带;4—逆断层

2 野外构造特征及运动学标志

2.1 透入性面理

剪切带内的透入性面理主要为糜棱面理。糜棱面理总体走向为NE50°~60°,但倾向有变化。对不同地段与不同岩性中测量的糜棱面理产状约300个进行投影统计(图2)^[5],其特点如下:巴彦温都尔区段强应变带的糜棱面理具有两个同等级优势产状,分别为170°/30°、330°/60°,二者的交面线产状为

250°/18°。极点图解为单斜对称图形,所反映的变形特征为递进的均匀剪切变形(图2(a))。巴彦温都尔北侧弱变形带其主优势产状为走向55°,倾角近直立;次优势产状为155°/60°。极点图解反映了左行均匀剪切递进变形的变形特征(图2(b))。剪切带南侧花岗岩中糜棱面理的主优势产状为168°/65°,次优势产状为192°/60°。极点图解为三斜对称,反映了非均匀变形与两期组构相互叠加的变形特征(图2(c))。额尔登敖包(巴润萨拉西北部)区

段糜棱面理的主优势产状为 $160^{\circ} 71^{\circ}$, 次优势产状为 $177^{\circ} 0^{\circ}$ 、 $336^{\circ} 68^{\circ}$ 。前者的极点图解为三斜对称, 反映了多期组构叠加及左行剪切变形特征; 后者极点图解则为单斜对称, 反映了均匀递进剪切变形特征(图 2(d))。从上述投影图解可以看出, 在该韧性剪切带中心部位其变形特征以递进的均匀剪切变形为主; 而在剪切带之边部则具有左行剪切与多期组构相互叠加的特点。

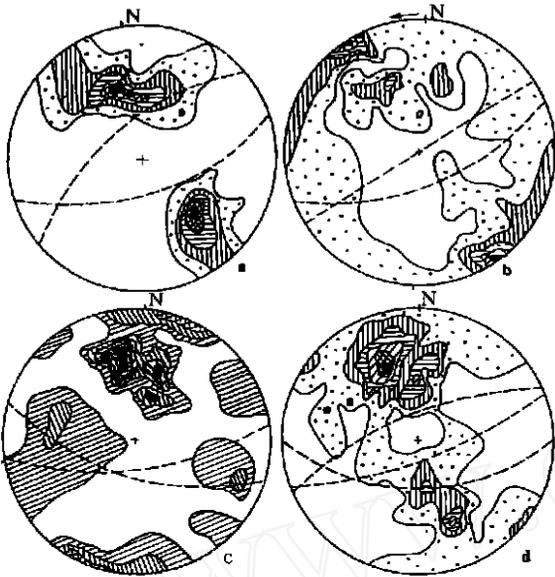


图 2 面理极点赤平投影图解
(下半球投影, 据赵国春, 1995)

- (a) 一等密线为 0 - 1.9% - 3.9% - 5.8% - 9.8% (51 个)
 (b) 一等密线为 0 - 2.2% - 4.5% - 6.7% - 8.9% - 11.2% (67 个)
 (c) 一等密线为 0 - 2.5% - 4.1% - 5.9% - 7.5% - 9.1% (59 个)
 (d) 一等密线为 0 - 1.1% - 2.3% - 3.5% - 4.7% - 7.1% (128 个)

2.2 线理

该韧性剪切带中发育两种线理, 即拉伸线理与褶皱纹理。

1) 拉伸线理: 主要产于哲斯组中经韧性变形的砾石, 经韧性变形的砾石被拉伸成短棒状, 其长短轴之比总体为 3 : 1 ~ 15 : 1。在巴彦温都尔, 变形砾石的长轴统计优势产状为 $210^{\circ} \sim 230^{\circ} 30^{\circ} \pm$, 在额尔登敖包则为 $40^{\circ} \sim 65^{\circ} 10^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 。反映出在剪切带两端物质以近水平方向运动为主。2) 褶皱纹理: 主要表现为糜棱面理发生膝折后所形成的线理。这种线理走向 NE 且倾角陡立, 亦反映了近水平的左行剪切运动方式。

2.3 剪切褶皱与面理置换

在该韧性剪切带的内部, 宏观面理为糜棱面理, 它几乎完全破坏与置换了原生层理, 在哲斯组复成分砾岩中, 砾石 ab 面的定向排列形成了与糜棱面理

产状一致的面理, 但从对相同成分层的追索与观察可以看出, 这种面理实际上是成分层, 即层理发生剪切褶皱时的剪切面理(图 3(a))。

2.4 S - C 组构与旋转构造

如前所述, 剪切带中砾径较大砾石的 ab 面即为糜棱面理(S_c)。它们之间往往发育一系列由砾径较小的砾石扁平面的定向排列所形成的且与糜棱面理斜交的一组面理(S_s), 其与糜棱面理共同组成了 S - C 组构, 并指示了沿 S_c 的左行剪切特点(图 3(b))。

砾径较大砾石除被强烈压扁拉长之外, 在砾石长轴的两端, 由砂、泥质成分组成的拖尾现象表明砾石曾发生过旋转。旋转运动的方向亦为左行剪切(图 3(c))。

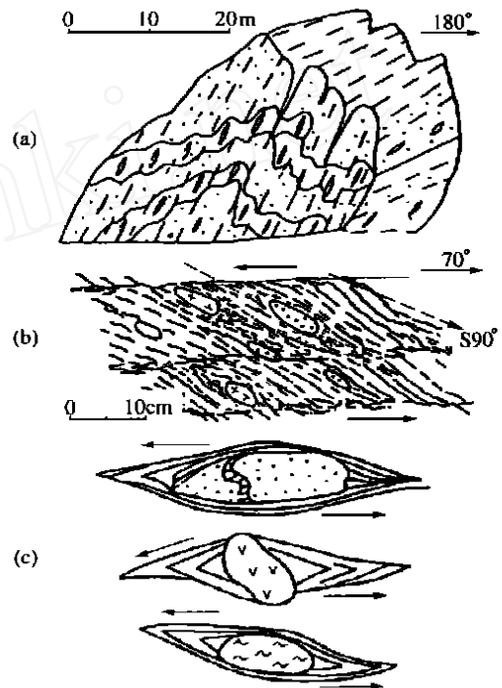


图 3 韧性剪切带的变形构造

- (a) 剪切褶皱与糜棱面理; (b) S - C 组构; (c) 旋转砾石

3 显微构造特征及运动学标志

经对糜棱岩切片的显微镜下观察, 从初糜棱岩系列中, 诸如波状消光、动态重结晶、变形纹、核幔构造、石英丝带构造等显微构造种类繁多且发育齐全。但能指示剪切方向的显微构造有如下几种:

3.1 显微褶皱

这种构造发育于原岩为钙质、砂质及凝灰质岩石的糜棱岩中, 表现为糜棱面理的膝折及平卧褶皱等。依据褶皱的轴面倒向可以判定其运动方向为左行剪切。

3.2 旋转碎斑

这种构造发育普遍。碎斑主要由长石、石英及云母等矿物组成,并在长轴两端形成明显的拖尾现象,如云母鱼等。根据拖尾指向判断其运动方向为左行剪切。

3.3 多米诺骨牌构造

这种构造多发育于花岗质及泥质糜棱岩中,形成这种构造的矿物以斜长石、黑云母为主。其表现为沿这些矿物的节理面或微破裂面发生剪切而形成

一套斜列的条形矿物的堆砌。根据斜列剪切面的倒向判断其运动方向为左行剪切。

4 剪切带内部化学成份的改变

由于剪切带中的剪切变形增加了矿物内部的应力能,引起了矿物的重结晶,有利于流体相的流动,改变了总的化学成份和加速了矿物的化学反应。作者对该剪切带内部钾长石的残斑及其边缘细粒所做的电子探针分析(表 1)。

表 1 钾长石电子探针分析结果 %

	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	CrO	NiO	FeO	P ₂ O ₅	TOTAL
残斑	0.40	0.00	18.83	65.29	16.94	0.03	0.02	0.09	0.01	0.10	0.26	0.00	100.97
边缘细粒	0.53	0.11	18.46	0.13	0.08	0.13	0.08	0.00	0.14	0.21	0.00	0.00	99.37

从表 1 可以看出,从残斑 - 边缘细粒钾长石成分的变化特点为: Na₂O, MgO, CrO, NiO 等略有增加;而其他化学成分呈减小趋势,其中尤以 K₂O 流失量最为明显。

5 应变测量

5.1 测量的对象及方法

在巴彦温都尔 - 乌拉音敖包韧性剪切带中存在一套已发生韧性剪切变形的砾石与砂砾等下二叠统哲斯组复成分砾岩。在显微镜下观察,砂砾未见明显压溶现象。所以为野外与室内的应变测量提供了良好的对象。

在实际工作中,作者对变形砾石在野外选取 3 个互相垂直的平行面理、平行线理与垂直线理的面进行直接测量;在室内则对按上述 3 个面的方向进行切片,在显微镜下进行测量。在 3 个互相垂直的平面上均采用 Rf/ 法,对变形砾石的长/宽以及长轴的倾向与倾角进行测量。

在每个测点上,砾石测量均在 50 个以上;砂砾测量则要求大于 100 组以上的数据。沿该韧性剪切带的走向,在巴彦温都尔进行了 4 个砾石测量点与 2 个砂砾测量点的测量;在东北部的额尔登敖包则进行了 6 个砂砾测量点的测量。

5.2 数据处理

首先对测量所得的结果进行平均值计算,得出各测量面上长宽的比值 R、倾角 的平均值 \bar{R} 、 $\bar{\theta}$ 再计算出整个测量对象的三轴之比 $a : b : c$ 。在此基础上进行其他项的计算。

5.2.1 平均半径与压缩量的计算

由已知的 $a : b : c$,利用公式 $R = (abc)^{1/3}$ 求出变形椭球体平均半径 R 的相对长度,代入公式 $\epsilon = R$

- C/ R,计算出变形椭球体压缩量 ϵ 。

5.2.2 付林(Flinn)指数的计算

付林指数表示岩石中不同类型的均匀应变,通过付林图解来反映由不同变形机制而导致的不同类型的应变。

付林指数 K 依下式计算:

$$K = (a - 1) / (b - 1), a = (1 + e_1) / (1 + e_2), b = (1 + e_2) / (1 + e_3)$$

式中 a、b、1、1 + e₁、1 + e₂、1 + e₃ 分别表示应变椭球的长半轴,中间半轴与短半轴的相对长度。

5.2.3 改进后的付林指数的计算

Ramsay 对付林图解进行了改进。改进后的付林指数 K 依下式计算:

$$K = (\ln a - \ln b) / (\ln a - \ln c)$$

式中 $\ln a = \ln \frac{1 + e_1}{1 + e_2}, \ln b = \ln \frac{1 + e_2}{1 + e_3}$

5.3 应变分析

对所测量数据进行上述计算处理以后,得出处理结果(表 2,表 3)。

从两表可以看出,巴彦温都尔 - 乌拉音敖包韧性剪切带可以明显分为强变形带与弱变形带两段。在西南部的巴彦温都尔段内,变形三轴之比平均为 3.13 : 1 : 0.33,相对平均半径为 1.02,压缩量为 67.2%。在东北部的额尔登敖包段内,变形砂粒三轴之比为 1.725 : 1 : 0.37,相对半径为 0.84,压缩量为 56.0%。后者明显弱于前者。

将表中的付林指数及改进后的付林指数投于图解中(图 4),可以看出巴彦温都尔的 6 个点落在 K = 1 的直线附近,表示为无体积损失,简单剪切的平面应变状态;额尔登敖包的 2 个点落在 K = 1 的直线附近,另 4 个点则落在 K = 0.01 ~ 0.19 的区域内,代表 3 轴扁椭球体,反映了该段呈压扁型应变状态。

表 2 巴彦温都尔变形砾石分析结果

砾石产地	三轴	倾向	倾角	三轴之比			相对平均半径 (R)	压缩 (%)	Flinn 参数		Flinn 指数 (K)	对数 Flinn 指数		
				a ₁	b ₁	c ₁			a	b		ln a = $\bar{\epsilon}_1 - \bar{\epsilon}_2$	ln b = $\bar{\epsilon}_2 - \bar{\epsilon}_3$	K = $\frac{\ln a}{\ln b}$
1122 高地	a ₁	35	40	3.20	1.00	0.31	1.104	61.1	3.20	3.22	0.99	1.16	1.17	0.99
	b ₁	241	47											
	c ₁	136	13											
1119 高地	a ₁	23	31	3.13	1.00	0.43	0.997	68.8	3.13	2.32	1.60	1.14	0.84	1.35
	b ₁	273	61											
	c ₁	145	46											
舒布嘎尔敖包	a ₁	50	4	3.24	1.00	0.26	0.949	72.6	3.24	3.84	0.79	1.18	1.35	0.87
	b ₁	315	71											
	c ₁	146	28											
1072 高地	a ₁	80	14	3.67	1.00	0.26	0.987	73.7	3.67	3.84	0.94	1.30	1.35	0.96
	b ₁	318	52											
	c ₁	180	30											

表 3 镜下变形砂粒分析结果

标本号	三轴	倾向	倾角	三轴之比			相对平均半径 (R)	压缩 (%)	Flinn 参数		Flinn 指数 (K)	对数 Flinn 指数		
				a ₁	b ₁	c ₁			a	b		ln a = $\bar{\epsilon}_1 - \bar{\epsilon}_2$	ln b = $\bar{\epsilon}_2 - \bar{\epsilon}_3$	K = $\frac{\ln a}{\ln b}$
HD-11 ^x	a ₁	346	31	1.11	1.00	0.35	0.73	52.1	1.11	2.86	0.06	0.104	1.051	0.098
	b ₁	151	56											
	c ₁	49	0											
HD-15 ^x	a ₁	330	51	1.21	1.00	0.42	0.76	51.3	1.20	2.38	0.145	0.184	0.867	0.212
	b ₁	159	35											
	c ₁	59	7											
HD-18 ^x	a ₁	271	10	2.59	1.00	0.42	1.03	59.2	2.59	2.83	1.15	0.952	0.867	1.100
	b ₁	182	40											
	c ₁	4	16											
HD-20 ^x	a ₁	44	48	3.06	1.00	0.40	1.07	62.6	3.06	2.50	1.37	1.118	0.916	1.220
	b ₁	238	41											
	c ₁	182	8											
HD-23 ^x	a ₁	309	35	1.36	1.00	0.35	0.78	55.1	1.36	2.86	0.19	0.307	1.051	0.292
	b ₁	34	89											
	c ₁	230	1											
HD-34 ^x	a ₁	314	1	1.03	1.00	0.29	0.67	56.7	1.03	3.45	0.01	0.030	1.238	0.024
	b ₁	186	89											
	c ₁	44	1											
HD-1 ⁺	a ₁	324	28	2.69	1.00	0.38	1.01	62.4	2.69	2.63	1.03	0.990	0.967	1.023
	b ₁	191	12											
	c ₁	88	43											
HD-2 ⁺	a ₁	331	3	2.87	1.00	0.38	1.09	65.1	2.87	2.63	1.15	1.054	0.967	1.090
	b ₁	220	78											
	c ₁	56	12											

注：+—巴彦温都尔地区；x—额尔登敖包地区

从上面的分析可以看出,巴彦温都尔—乌拉音敖包韧性剪切带以简单剪切的平面应变为主,其东北段由于后期燕山岩体在北侧的侵入而叠加了压扁型应变。

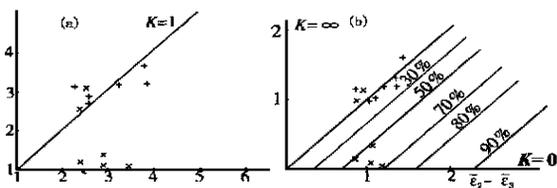


图 4 付林图解

(a)—付林图解；(b)—改进后的付林图解

6 形成时间、条件及在构造发展中意义

巴彦温都尔—乌拉音敖包内花岗质糜棱岩系由其南部的二长花岗岩体经韧性剪切所形成。花岗质糜棱岩的 K-Ar 年龄值为 197.9 Ma, 而其南部的二长花岗岩体 (TA) 的 U-Pb 同位素年龄值为 223 Ma。因此证明该韧性剪切带形成的时间应为三叠纪晚期。

根据辛普森 (Sibon R H, 1997) 对韧性剪切带的研究认为,在长英质岩石中,石英由脆性变形向韧性剪切变形的转化条件相当于低绿片岩相,相当温度为 300,在正常地温梯度下相当于约 10 km 的深度。

而该韧性剪切带内新生变质矿物相当于钠长石

+ 绿帘石 + 阳起石 + 绿泥石 + 石英的矿物组合,而且石英、钾长石与斜长石已普遍发生了韧性剪切变形与动态重结晶。

利用带内岩石中共生的斜长石与钾长石中钠的端元组分计算温度的方法,计算出其形成温度的平均值为 380 。

利用带内多硅白云母单个晶胞中硅原子数以及上述的温度值,在多硅白云母的 $P - T$ 稳定曲线上投点,得出其形成的压力值约 500 Mpa,变质作用属于中压型变质相系,其地温梯度为 21 / km。

根据上述所得的温压条件,参照 Sibson (1976) 断层岩双层模式图,推测巴彦温都尔 - 乌拉音敖包韧性剪切带的形成深度应在 15 km ~ 20 km 之间。

对内蒙古中部地区的构造研究,长期以来人们多把重点置于海西运动晚期所形成的构造形迹。对印支运动所形成构造则很少提及,这其中重要的原因在于将该地区属于印支期的构造形迹划归于海西晚期。

自早二叠世中期至三叠纪是内蒙古中部地区全面抬升的阶段,也是该区晚古生代 - 早中生代构造变形的重要阶段。大面积的深成岩的侵位活动也主要集中于这一时期(苏尼特左旗地区为 250 Ma ~ 192 Ma)以及三叠系地层的大面积缺失等都暗示着两大

板块对接以后的继续对接作用。在这一区域构造应力场的作用下,形成了一套印支期构造形迹。

通过上述的研究可以看出,苏尼特左旗地区发育的韧性剪切带,即为两大板块对接后的持续挤压作用下在印支期的构造变形。它是在海西末期两大板块的对接碰撞所形成的褶皱、断裂的基础上成生与发展起来的。它代表了该地区在地壳较深层次的构造变形,其应变方式以无体积应变的简单剪切应变为主,运动方向以平面左行为主。根据北京大学邵济安教授(1989)^[2]的研究认为,在该时期,除韧性剪切带外,地壳浅层次的逆冲推覆构造为中朝板块北缘中段的另一种构造变形方式。

[参考文献]

- [1] 刘瑞洵. 显微构造地质学[M]. 北京:北京大学出版社,1998.
- [2] 邵济安. 中朝板块北缘中段地壳演化[M]. 北京:北京大学出版社,1989.
- [3] 郑亚东. 岩石有限应变测量与韧性剪切带[M]. 北京:地质出版社.
- [4] 内蒙古地质矿产局. 内蒙古自治区区域地质志[M]. 北京:地质出版社.
- [5] 赵国春. 内蒙古苏尼特左旗巴润萨拉北东向强变形带的构造特征及其形成环境[J]. 现代地质,1995,9(2).
- [6] Sibson R H. Fault rocks and fault mechanisms[J]. J Geol Soc, London,1997.

STUDY OF SUNITZUOQI DUCTILE SHEAR ZONE IN INNER- MONGOLIA

GAO De - zhen , XU You - hua

Abstract :Sunitzuoqi locates in the middle part of the northern margin of Sino - Korea region. Bayanwundur - Wlainaobao ductile shear zone is the typical one in them. This ductile shear zone were formed in the stage of Indosinian movement. The formation of the ductile shear zones in this region are related to the collision and the orogeny between the Sino - Korean and Siberian plates during the end of the early Permian.

Key words :Sunitzuoqi , ductile shear zone , Indosinian movement



第一作者简介:

高德臻(1956年-),男。1982年毕业于武汉地质学院北京研究生部构造地质学专业,获理学硕士学位。现任中国地质大学(北京)副教授,主要从事构造地质与区域地质科研和教学工作。

通讯地址:北京市海淀区学院路29号 中国地质大学地矿系区域地质调查研究所 邮政编码:100083