

内蒙古察右后旗三道沟一带韧性剪切带磁组构特征及其构造意义

黄俊¹ 鲁如魁^{1,2} 褚志安³ 张永强⁴

(1.安徽省地质调查院,安徽合肥 230001;2.西北大学地质学系 大陆动力学国家重点实验室,陕西西安 710069;
3.陕西地勘局第六地质队,陕西临潼 710060;4.中国黄金集团公司李子金矿有限公司,甘肃天水 741005)

摘要:变形岩石的磁组构参数 K_1 、 K_2 、 K_3 、 P 、 T 、 F 、 L 、 E 等可以用来定量地分析和了解构造变形的性状。笔者对分布于察哈尔右翼后旗三道沟一带的构造岩进行磁组构特征研究发现: E 值多大于 1, 或接近于 1; T 值大于 0 的明显多于小于 0 的; P 值均大于 1, 而以 F 和 L 的对数值为轴所作的变型弗林图解中数据主要集中在剪切区和压扁区。上述结果表明磁化率椭球体主要表现为磁面理较磁线理发育的压扁型椭球体, 三道沟一带韧性剪切带的构造岩石经历了力学机制为挤压剪切的强烈构造活动。这种由磁组构揭示的应力应变特征得到了野外露头及显微构造的佐证。

关键词:磁组构;三道沟韧性剪切带;临河—集宁断裂。

中图分类号: P588.33 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2011)03-0544-09

岩石中磁性矿物颗粒形态、结晶方向及分布的差异导致不同方向磁化率的差异, 表现为岩石的磁化率各向异性。研究表明, 岩石磁化率椭球体的形态和空间方位与应变椭球体具有良好的对应关系, 岩石应变椭球体的 3 个主轴与磁化率椭球体的 3 个主轴相互平行, 具有共轴关系, 即 $K_i/K_j = (L_i/L_j)^a$ ($i, j = 1, 2, 3$), 式中 K_i 、 K_j 为相互垂直的主磁化率值, L_i 、 L_j 为相互垂直的主应变轴长度, a 为幂指数。因此, 磁化率椭球体可以用来代替应变椭球体, 这是磁组构应用于构造变形研究的基础^[1-5]。

构造应力作用会使岩石中磁性矿物发生韧性变形和(或)动态重结晶并导致产生定向排列, 从而使岩石呈现磁化率各向异性(AMS)。这种由变形岩石中矿物对应变所作的磁性记录表现为磁组构, AMS 由定向的磁化率椭球体予以表征。因此, 可用磁化率椭球体形态和空间定向来分析岩石所经历的构造历程、构造变形的性质及应力作用的方式、方向^[6-10]。这对缺乏应变标志体, 且用应变椭球难以确定的地区

的变形研究, 具有很重要的实用意义。

内蒙古临河—集宁断裂是华北地台北缘的一条重要断裂带, 位于大青山北麓, 总体沿北纬 41° 近东西向展布。该断裂带在航磁、重力资料中均有明显的异常显示, 是一条影响深达地幔的深断裂^[11]。但因主干断裂风化剥蚀严重, 缺乏标志体, 且沿线多有掩盖, 用常规方法研究较为困难。本文试图通过对分布于察哈尔右翼后旗三道沟一带的构造岩进行磁组构特征研究, 来分析该地区韧性剪切带的应力应变规律, 进而探讨临河—集宁深断裂早期韧性变形的特征。

1 地质概况

研究区隶属华北地台北缘内蒙台隆凉城断隆^[12], 位于高家窑—乌拉特后旗—化德—赤峰深大断裂带南侧, 夹持于临河—集宁、乌拉特前旗—呼和浩特深断裂之间(见图 1)。区内以太古宙地层构成地台褶皱基底, 伴有古元古代、华力西期、燕山期的岩浆活动。侵入岩以酸性岩为主, 少量为基性—中基性岩;

收稿日期: 2010-06-22; 改回日期: 2011-03-20

基金项目: 内蒙古自治区地质勘查项目“1:5 万内蒙古自治区察右后旗袁家房子等四幅矿产地质调查”资助。

作者简介: 黄俊, 男, 1956 年生, 高级工程师, 长期从事地质矿产调查工作; E-mail: ahhuangju@163.com。

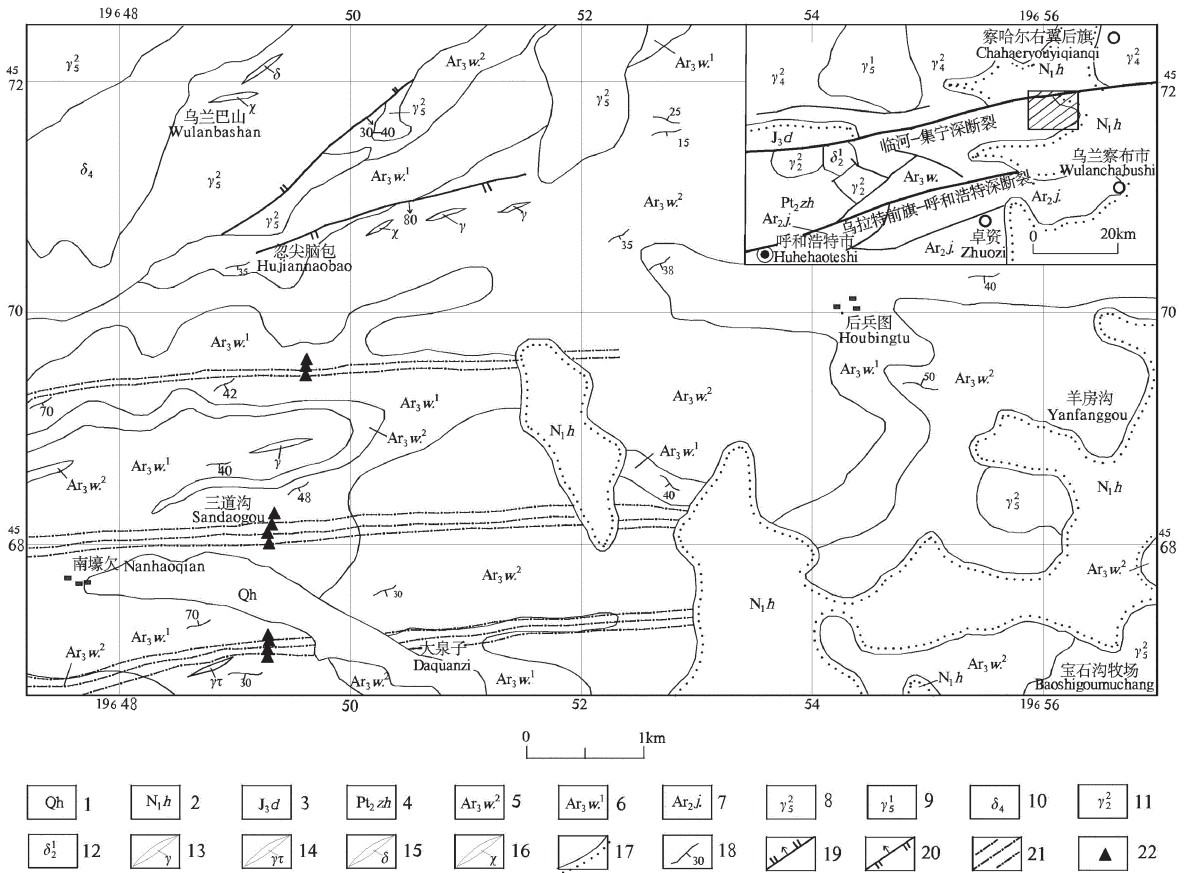


图 1 三道沟—后兵图地质简图及样品采样位置

- 1—第四系;2—汉诺坝组玄武岩;3—大青山组;4—渣尔泰山群;5—乌拉山岩群大理岩组;6—乌拉山岩群片麻岩组;7—集宁岩群;
- 8—燕山期花岗岩;9—印支期花岗岩;10—华力西期闪长岩;11—元古宙中期花岗岩;12—元古宙早期闪长岩;13—花岗岩脉;
- 14—花岗细晶岩脉;15—闪长岩脉;16—煌斑岩脉;17——地层不整合界线;18—片麻理产状;19—正断层;20—逆断层;
- 21—韧性剪切带;22—磁组构样品采样位置

Fig.1 Geological sketch map of Sandaogou-Houbingtu area, showing sampling locations

- 1-Quaternary; 2-Hannuoba basalts; 3-Daqingshan Formation; 4-Zha'ertaishan Group; 5-Marble Formation of Wulashan rock suite;
- 6-Gneiss Formation of Wulashan rock suite; 7-Jining rock suite; 8-Yanshanian granites; 9-Indosinian granites; 10-Variscan diorites;
- 11-Middle Proterozoic granites; 12-Early Proterozoic diorites; 13-Granite vein; 14-Fine grained granitic vein; 15-Diorite vein;
- 16-Lamprophyre vein; 17-Unconformity; 18-Mode of occurrence of geosissity; 19-Normal fault; 20-Reverse fault;
- 21-Ductile shear zone; 22-Sampling location for magnetic fabrics

喷出岩主要为基性岩,少量为中酸性岩。中生代早白垩世及其新生代汉诺坝组地层直接不整合覆盖在太古宙变质岩系之上。

三道沟一带出露太古宙乌拉山岩群,由下部的角闪斜长片麻岩岩组和上部的大理岩岩组组成,两者为整合接触或构造平行化接触。呈北东东向带状展布。因遭受变质、变形和岩浆热事件的多次叠加改造及中新世汉诺坝组玄武岩的覆盖,这套中深变质岩系残缺不全。区内最基本的构造格架是以乌拉山群为轴部的复式背斜,呈 60°~70°方向展布,后期叠

加了近东西向的断层、挤压破碎带和与这些主构造相伴生的次级近南北向的张性断裂。近东西向断裂为区内主干断裂(图 1),是临河—集宁深断裂在研究区活动的表现,该组断裂主要发育于太古宙乌拉山岩群和中生代花岗岩中。

临河—集宁深断裂是一条长期活动的复杂断裂带,以往对其早期演化研究甚少。1997-1999年,高德臻、李龙教授在内蒙古固阳地区进行 1:5 万区域地质调查时,测制了数条 1:2000 的构造剖面,并进行了大量的显微构造观察和组构测量。认为该断

裂在太古宙末表现为高角闪岩相-麻粒岩相的高温韧性剪切带,古元古代地壳在伸展体制下抬升之后又叠加有浅层次的绿片岩相低温韧性剪切活动;中元古代之后转化为脆性断层活动,并控制着不同时期的沉积和岩浆建造^[1]。该研究对临河—集宁深断裂早期韧性变形的构造几何学及运动学特征表述较少,本文试图用磁组构方法来探究该断裂早期韧性构造变形的几何学、运动学特征。

2 分析方法及结果

样品采自察右后旗袁家房子三道沟一带的晚太古宙黑云斜长片麻岩中的韧性剪切带中(图1),该带位于临河—集宁深断裂的南侧,大致分为后兵图、三道沟、大泉子3条。韧性剪切带表现为宽窄不一,规模不等,本区出露长度不足10 km,宽30~60 m,个别宽近100 m。剪切带内矿物明显变形定向,石英拉长呈拔丝状。因剪切断裂形成的构造岩,其糜棱面理产状多与片麻理一致,局部较陡,切割片麻理。

36个采样点垂直韧性剪切带布置,获得小样130块,测试工作由国土资源部南京地质矿产研究所实验测试中心古地磁实验室完成。所有样品均在野外定向,室内切取边长为2 cm的小立方块体,采用HKB-1数字化卡帕桥测试,通过旋转岩样,测5个方向的X、Y、Z轴的磁化率,一个岩样总共测15个值,通过计算机程序计算,得出3个主磁化率(表1)。理想状态下,其灵敏度为 2×10^{-8} SI,精度为0.1%。

3 磁组构特征

3.1 韧性剪切带应力应变特征的磁组构反映

研究表明,磁化率椭球体的扁率(E)、各向异性度(P)和形状因素(T)能够定量反映构造带应力应变特

征。当磁化率各向异性度 $P \geq 1.10$, 为强韧性剪切变形; $P = 1.00 \sim 1.09$, 为弱韧性剪切变形; P 值较小时,表明岩石变形较弱,属于脆-韧性变形或脆性变形^[3,4]。当磁化率椭球体的扁率 $E > 1$ 时,椭球体为扁球型,变形岩石中面理较线理发育;当 $E < 1$ 时,椭球体为长球型,变形岩石中线理较面理发育。磁化率椭球体形状因素 T 包含了磁线理和磁面理参数,它更能表征磁化率椭球体的形状: $0 < T < 1$, 以磁面理发育为主,椭球体属扁平型; $-1 < T < 0$, 以磁线理发育为主,椭球体为伸长型;当 $T = 0$ 时,磁面理和磁线理同等发育; $T = 1$ 时,仅有磁面理发育^[3-5]。

从三道沟韧性剪切带构造岩石磁组构要素的测定结果及其参数计算结果(表1)可以看出:三道沟构造岩 E 值多大于1,或接近于1; T 值有的大于0,有的小于0,但大于0的明显多于小于0的; P 值均大于1,其中样品4252-17达1.495(图2)。上述结果表明磁化率椭球体主要表现为磁面理较磁线理发育的压扁球型椭球体,反映出三道沟韧性剪切带的构造岩石经历了力学机制为挤压剪切的强烈构造活动。

此外,以磁面理(F)和磁线理(L)的对数值为轴所作的变型弗林图解可以确定变形类型。该图以 $Lg L = Lg F (K=1)$ 为界,在其下方的压扁区内,磁面理比磁线理发育,构造岩石属平面应变;在其上方的拉伸区内,磁线理较为发育,构造岩石属线性应变;而沿 $Lg L = Lg F$ 线分布的点所代表的岩石则以剪切应变为主。本次工作测试的数据主要集中在剪切区和压扁区(图3),表明三道沟韧性剪切带内的构造岩石经历了挤压剪切应力作用。

3.2 最小磁化率产状投影与最大主压应力方位

由于磁化率椭球体各主轴与构造要素有较好的对应关系:磁线理与构造线理对应,磁面理(K_1 和 K_2

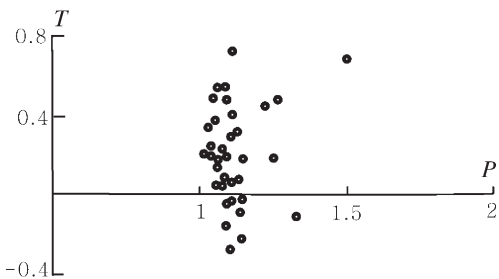


图2 磁化率各向异性度与形状因素关系
Fig.2 Diagram of the shape (T) versus the anisotropy (P) of the magnetic ellipsoid

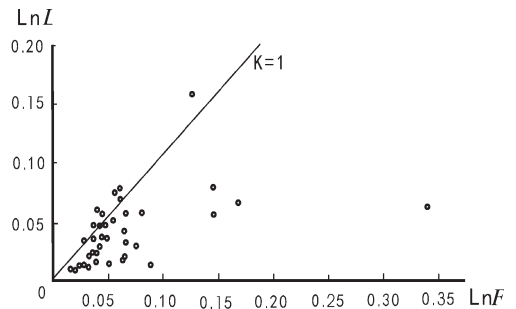


图3 磁组构参数弗林图解
Fig.3 Flinn diagram of magnetic fabric parameters

表 1 三道沟韧性剪切带构造岩磁组构要素测定及参数计算结果(单位:10⁻⁶SIU)
Table 1 Measurements and calculations of the magnetic fabric elements of the Sandaogou ductile shear zone (unit:10⁻⁶SIU)

样品编号	样品数	岩性	K ₁	K ₂	K ₃	K	P	E	T	F	L	D ₁	I ₁	D ₂	I ₂	D ₃	I ₃
4252-1	4	斜长片麻岩	705	685	635	674	1.1118	1.0453	0.4075	1.0783	1.0313	161.097	32.724	18.682	50.5798	262.766	18.753
4252-2	4	斜长片麻岩	837	799	761	799	1.0998	1.001	-0.0375	1.049	1.048	11.9109	40.6134	225	45.9919	120.736	15.6771
4252-3	4	斜长片麻岩	902	869	831	867	1.086	1.0063	0.0875	1.0455	1.039	353.82	6.0907	252.838	11.1627	312.082	20.9185
4252-4	4	斜长片麻岩	1170	1090	1030	1090	1.1403	0.983	-0.2175	1.0583	1.0775	172.064	19.9312	266.916	8.27903	196.678	67.7484
4252-5	4	斜长片麻岩	919	869	801	865	1.1478	1.024	0.185	1.0838	1.059	22.6134	17.9488	153.293	59.6296	281.293	20.8825
4252-6	2	斜长片麻岩	883	819	685	796	1.2645	1.1095	0.48	1.1845	1.0665	231.072	29.7641	340.497	34.4762	108.912	40.7221
4252-7	4	斜长片麻岩	770	726	695	731	1.1078	0.9878	-0.0375	1.0458	1.0595	133.889	18.1856	252.29	3.73744	4.13465	33.3329
4252-8	4	斜长片麻岩	886	838	783	835	1.1435	0.987	-0.0175	1.0605	1.0795	142.077	34.1483	21.0053	37.4853	255.612	16.4339
4252-9	4	斜长片麻岩	830	784	735	783	1.1308	1.0118	0.075	1.0688	1.0588	173.78	26.9851	54.9474	41.8006	289.336	35.0915
4252-10	4	斜长片麻岩	835	786	759	793	1.1063	0.9795	-0.2725	1.041	1.063	159.251	31.1803	65.373	32.0845	292.432	46.7646
4252-11	4	斜长片麻岩	694	678	655	675	1.0575	1.0105	0.05	1.0338	1.023	164.699	37.713	269.024	2.37128	9.23266	40.4533
4252-12	4	斜长片麻岩	874	835	800	837	1.0925	0.997	-0.1575	1.0435	1.0468	169.784	31.6931	228.769	3.54956	303.361	21.9642
4252-13	4	斜长片麻岩	917	901	845	887	1.0845	1.0455	0.545	1.065	1.0183	221.583	5.37861	134.218	27.1047	308.598	63.1126
4252-14	4	斜长片麻岩	752	718	691	720	1.0893	0.9915	-0.04	1.0385	1.049	193.156	13.8274	76.8292	61.0209	285.666	26.8678
4252-15	4	斜长片麻岩	602	583	546	577	1.1033	1.0333	0.2925	1.0675	1.0333	101.274	13.0787	243.609	27.941	349.922	14.267
4252-16	1	斜长片麻岩	590	504	445	513	1.328	0.97	-0.11	1.135	1.17	312.665	44.4393	119.435	44.0273	214.935	5.74769
4252-17	1	斜长片麻岩	512	480	342	445	1.495	1.318	0.69	1.404	1.065	110.578	29.8449	310.445	57.3094	204.041	9.72493
4252-18	4	斜长片麻岩	549	507	447	501	1.2518	1.072	0.1925	1.1568	1.0818	117.607	9.43997	10.493	63.2929	213.826	25.5457

续表 1

样品编号	样品数	岩性	K ₁	K ₂	K ₃	K	P	E	T	F	L	D ₁	I ₁	D ₂	I ₂	D ₃	I ₃
4253-1	4	斜长片麻岩	622	581	547	583	1.1385	0.994	-0.0875	1.0635	1.0705	143.593	12.2157	48.1387	55.5581	236.623	24.2086
4253-2	4	斜长片麻岩	614	600	579	598	1.0615	1.0108	0.15	1.036	1.0248	182.965	23.1279	250.037	4.43937	303.064	13.9877
4253-3	4	斜长片麻岩	624	601	572	599	1.0885	1.0133	0.195	1.0503	1.0368	21.1507	4.65296	119.808	62.275	288.758	27.3205
4253-4	4	斜长片麻岩	1120	1110	1090	1110	1.0263	1.0073	0.2025	1.0165	1.0093	171.44	19.869	38.7543	61.7119	268.362	20.1986
4253-5	4	斜长片麻岩	956	944	919	940	1.0418	1.0123	0.25	1.0268	1.0145	15.6309	21.8521	154.577	58.6105	285.027	21.2588
4253-6	4	斜长片麻岩	835	815	784	811	1.0653	1.0168	0.1725	1.0405	1.024	188.217	26.3448	65.5736	47.6744	294.332	31.9408
4253-7	4	斜长片麻岩	1280	1270	1210	1250	1.067	1.0385	0.54	1.0525	1.0138	195.705	33.722	59.7234	37.1345	307.998	8.95975
4253-8	3	斜长片麻岩	888	862	827	859	1.0737	1.014	0.2267	1.0437	1.029	87.1969	48.8041	180.175	3.41654	274.027	41.0016
4253-9	4	斜长片麻岩	980	950	925	952	1.0645	0.9938	0.0525	1.0283	1.0353	77.2192	29.2331	170.659	6.91339	272.06	61.2185
4253-10	4	斜长片麻岩	739	728	700	722	1.0568	1.0253	0.375	1.0408	1.0153	214.954	7.70154	305.664	22.1223	299.485	18.999
1209-1	3	斜长片麻岩	672	635	551	620	1.2223	1.0963	0.45	1.1577	1.0563	207.991	5.21231	106.908	56.5492	298.119	29.2252
1209-2	4	斜长片麻岩	591	583	570	581	1.0358	1.011	0.2	1.0235	1.0123	20.5009	18.3714	120.402	26.9415	262.081	56.7741
3268-1	3	斜长片麻岩	754	747	734	745	1.0283	1.009	0.3467	1.0187	1.0097	197.125	2.75013	104.139	46.762	289.623	43.0758
4247-1	4	斜长片麻岩	712	704	682	699	1.0443	1.021	0.4875	1.0325	1.0115	204.674	19.0677	133.328	42.7302	277.709	39.8112
4247-2	4	斜长片麻岩	888	877	801	856	1.1083	1.0783	0.72	1.093	1.014	68.4883	56.6692	167.023	5.77694	260.573	31.231
4251-3	4	斜长片麻岩	494	701	656	691	1.0915	1.046	0.4775	1.0683	1.0215	237.333	40.779	170.5	20.9161	263.099	14.8075
4201-1	4	斜长片麻岩	1010	967	914	964	1.11	1.0058	0.06	1.0563	1.0513	144.593	20.2157	248.037	8.43934	271.054	21.9677
4322-2	3	斜长片麻岩	879	846	802	842	1.1147	1.021	0.3133	1.0657	1.0433	185.965	22.1278	120.808	55.265	280.458	28.1205

注: K₁、K₂、K₃ 分别为磁化率椭球体最大、中间和最小轴磁化率大小,单位为 10⁻⁶SI。K 为前三者的算术平均值; P(磁化率各向异性度)=K₂/K₃; F(磁面理)=K₂/K₁; L(磁线理)=K₁/K₂; E(磁化率椭球体的扁率)=K₂/K₁×K₃; T(磁化率椭球体形状因素)=(2lnK₂-lnK₁-lnK₃)/(lnK₁-lnK₃)。

构成的面)与糜棱面理、片麻理、片理相一致, K_3 轴的方位则与这些面理相垂直。即变形岩石磁化率椭球体最小轴与最大应变压缩轴有一定的对应性,故可近似代表变形期的最大主压应力方向。将构造岩样品最小磁化率(K_3)产状作赤平投影图(图 4)、 K_3 反映的主压应力(σ_1)作玫瑰花图(图 5)、磁面理和磁线理分别作赤平投影等密图(图 6),得优势产状为 $290^\circ \angle 65^\circ$ 或 $110^\circ \angle 38^\circ$ (图 4~6),它代表了早期构造运动的构造面产状,与野外宏观观察基本吻合,其对应的主应力方向为 $290^\circ \sim 110^\circ$ 。

3.3 韧性剪切带走滑运动的磁组构反映

在断裂面附近,绿泥石和磁铁矿等其他载磁矿物因剪切变形而产生各向异性,磁化率椭球体主轴

方向对围岩错动作出调整,能够准确地反映出剪切运动方向^[13,14]。三道沟韧性剪切带所采集样品的最小磁化率主轴 K_3 投影点,多位于第二和第四象限内(图 4)。前已述及,该处构造岩磁化率椭球体的扁率(E)值大都大于 1;形状因子(T)值有的大于 0,有的小于 0,前者多于后者;磁化率各向异性度(P)值均大于 1。这表明磁化率椭球体主要表现为压扁球型椭球体,故可认为最小磁化率主轴(K_3)方位与构造面理垂直,并代表了最大主压应力方向,即该构造带所受到的主压应力呈 $290^\circ \sim 110^\circ$ 方向,此主压应力沿北东东向韧性剪切带走向分解(即临河—集宁断裂带走向),将在断裂面两侧形成一对顺时针方向力偶,促使三道沟韧性剪切带呈右行走滑运动(图 7)。

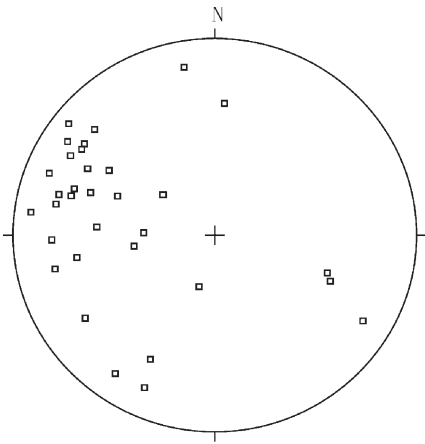


图 4 最小磁化率主轴(K_3)的赤平投影
(下半球投影)

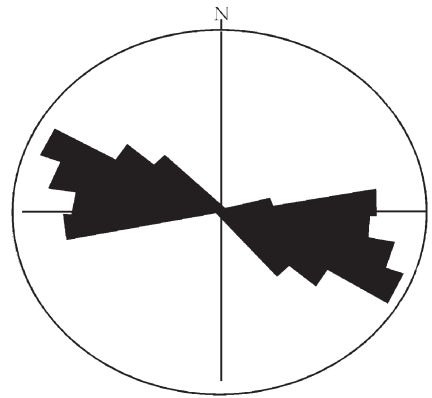


图 5 K_3 反映的主压应力(σ_1)玫瑰花图
Fig.5 Rose diagram of principle stress (σ_1) coming from K_3

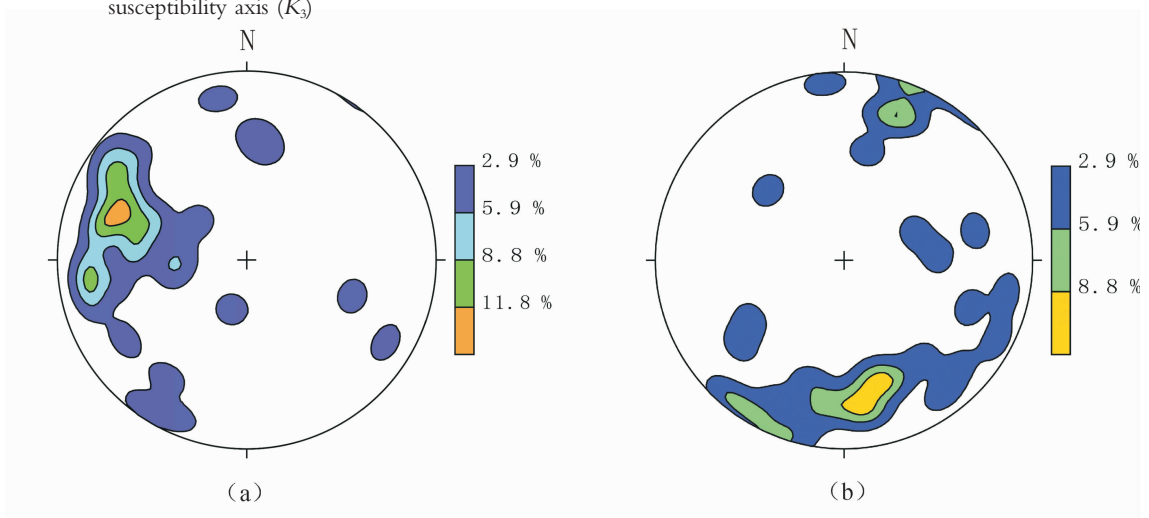
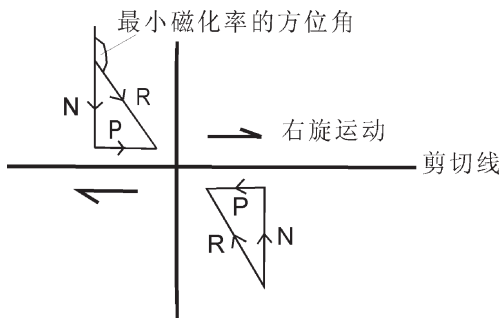


图 6 三道沟韧性剪切带构造岩磁面理极点等密图(a)和磁线理等密图(b)
(下半球投影)

Fig.6 Isodensity maps of magnetic foliation plots (a) and isodensity maps of magnetic lineation (b) of tectonite from the Sandaogou ductile shear belt

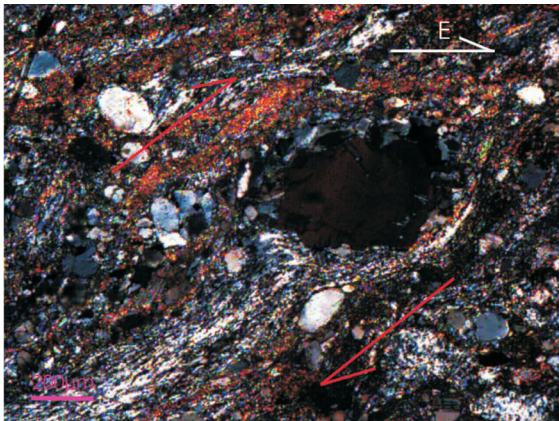


4 显微构造特征

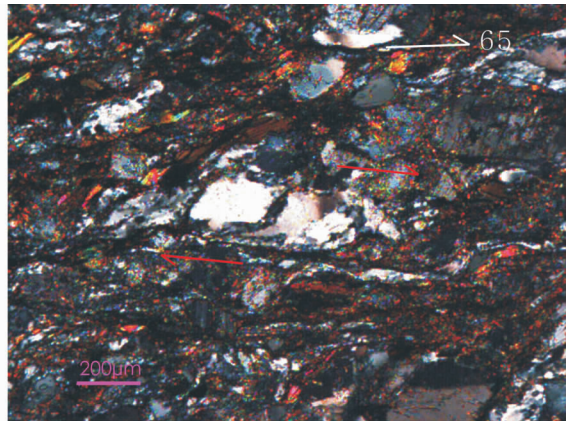
三道河韧性剪切带内多发育超糜棱岩-糜棱岩-初糜棱岩等系列构造岩，糜棱面理产状与片麻理产状基本一致，局部较陡，切割片麻理。沿糜棱面理有石英脉、煌斑岩脉侵入，具一定程度的破碎。从该组韧性断裂中所采集的定向标本，经过切片于镜下观察，发现韧性断裂中显微变形构造发育，矿物颗粒强细粒化、重结晶而形成的糜棱、超糜棱结构和斜长石等矿物因塑性变形而具有的机械双晶、波状消光等乃为特征性标志。带内矿物不但细粒化现象明显，而且石英颗粒均被拉长，多呈拔丝状，长石呈细小碎斑包裹于片状矿物中。

此外，长石残斑系及矩形石英条带、云母丝带、石英核幔构造(核部发育有消光带，幔部则为新生的动态重结晶颗粒)、动态重结晶的多晶石英条带等均

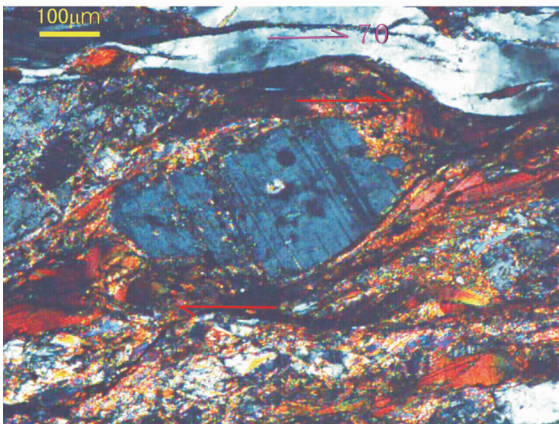
图7 磁化率椭球体判断剪切带运动方向示意图^[5]
 R—用最小磁化率方位或倾角定义的单位合矢量；P—平行剪切带的分量；N—垂直剪切带的分量
 Fig.7 Sketch map of kinetic direction of the shear zone judged by magnetic ellipsoid^[5]
 R—Synthesized vector defined by minimum magnetic susceptibility or dip angle；P—Component of parallel shear zone；N—Component of vertical shear zone



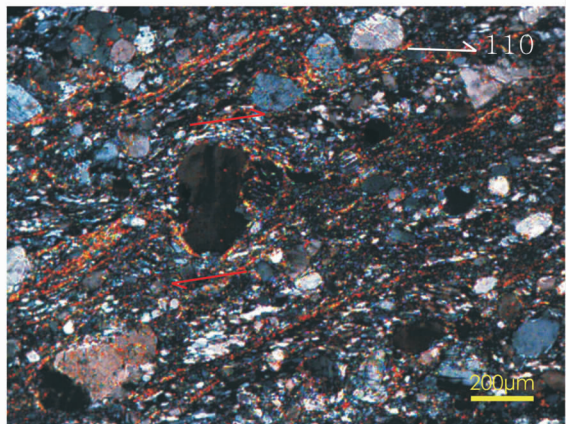
(a) 1209db1, 眼球状构造



(b) 4247db1, 书斜构造



(c) 4247db2, 核幔构造



(d) 4252db12(2), 雪球构造

图8 三道沟处北东东向韧性断裂中显微变形构造
 Fig.8 Micro deformation structure in NEE-striking ductile fracture of Sandaogou

为塑性变形产物。特别是后者中新晶粒呈拉长状与条带边界有一定交角,与眼球状构造、书斜构造、核幔构造、雪球构造等同样具指向意义(图 8),从微观尺度也印证了该组断裂韧性活动的右行走滑性质。

5 结 论

(1) 变形岩石的磁化率椭球体主要表现为磁面理较磁线理发育的压扁型椭球体,反映出三道沟一带韧性剪切带的构造岩石经历了力学机制为挤压剪切的强烈构造活动。

(2) 最小磁化率主轴 K_3 的赤平投影点主要位于第二和第四象限内,说明该构造带所受到的主压应力呈 $290^\circ\sim 110^\circ$ 方向,此主压应力沿北东东向韧性剪切带走向分解,将在断裂面两侧形成一对顺时针方向力偶,促使三道沟韧性剪切带呈右行走滑运动。这一结论得到了显微构造的支持。

(3) 北东东向右行走滑韧性剪切带是临河—集宁断裂早期活动产物,反映了该区域性深大断裂带早期构造活动的主体特征。

致谢: 本文是“1:5 万内蒙古自治区察右后旗袁家房子等四幅矿产地质调查”项目组全体成员共同劳动的结晶,审稿人对本文提出专业而又中肯的修改意见,使笔者受益匪浅,在此深表感谢!

参考文献(References):

- [1] 余钦范,郑敏. 岩石磁组构分析及其地学中的应用 [M]. 北京:地质出版社,1992:58-85.
Yu Qinfan, Zheng Min. Magnetic Analysis of Rocks and Its Application in Geology [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1992:58-85(in Chinese with English abstract).
- [2] 吴汉宁,岳乐平. 风成沉积物磁组构与中国黄土区第四纪风向变化[J]. 地球物理学报,1997,40(4):487-494.
Wu Hanning, Yue Leping. The anisotropy of magnetic susceptibility of aeolian dust sediment: the paleowind field in Chinese loess plateau [J]. Acta Geophysica Sinica, 1997, 40(4):487-494(in Chinese with English abstract).
- [3] 陈柏林,李中坚,谢艳霞. 北京怀柔崎峰茶—琉璃庙地区岩石磁组构特征及其构造意义[J]. 地球学报,1997,18(20):134.
Chen Bolin, Li Zhongjian, Xie Yanxia. Characteristics of the rock magnetic fabrics and its tectonic significance in the Qifengcha—Liulimiao area, Huairou County, Beijing[J]. Acta Geoscientia Sinica, 1997, 18(20):134 (in Chinese with English abstract).
- [4] 潘永信,朱日祥. 磁组构研究现状 [J]. 地球物理学进展,1998,13(1):52-59.
Pan Yongxin, Zhu Rixiang. The recent progress in magnetic fabrics [J]. Progress in Geophysics, 1998, 13 (1):52-59 (in Chinese with English abstract).
- [5] Tarling D H, Hrouda. The Magnetic Anisotropy of Rocks [M]. London: Chapman and Hall, 1993.
- [6] 周勇,许荣华,阎月华,等. 喀喇昆仑断裂带磁组构特征及其构造意义[J]. 岩石学报,2000,16(1):134-144.
Zhou Yon, Xu Ronghua, Yan Yuehua, et al. Characteristics of magnetic fabrics of the Karakoram fault belt and its tectonic significance [J]. Acta Petrologica Sinica, 2000, 16 (1):134-144 (in Chinese with English abstract).
- [7] Rathore J S, Henry B. Comparison of strain and magnetic fabrics in Dalradian rocks from the southwest Highlands of Scotland [J]. J. Strat. Geol., 1982, 4:373-384.
- [8] Rathore J S, Courrioux G, Choukroune P. Study of ductile shear zones (Galicia, Spain) using goniometry and magnetic fabric methods[J]. Tectonophysics, 1983, 98:97-107.
- [9] Borradaile G J, Puumala M. Magnetic fabric as a Kinematic indicator of faults: a test case[J]. Ann. Tectonica, 1989, 3:3-11.
- [10] Kligfield R, Owens W H, Lowrie W. Magnetic susceptibility anisotropy, strain, and progressive deformation in Permian sediments from the Maritime Alps (France)[J]. EPSL, 1981, 55(1): 181-189.
- [11] 高德臻,李龙,张维杰. 内蒙古临河—集宁断裂带中段构造特征及其演化[J]. 中国区域地质,2001,20(4):337-342.
Gao Dezhen, Li Long, Zhang Weijie. Tectonic characteristics and evolution of the central segment of the Linhe—Jining fault belt, Inner Mongolia[J]. Regional Geology of China, 2001, 20(4):337-342 (in Chinese with English abstract).
- [12] 内蒙古自治区地质矿产局. 内蒙古自治区区域地质志 [M]. 北京:地质出版社,1991.
Bureau of Geology and Mineral Resources of Inner Mongolia Autonomous Region. Regional Geology of Inner Mongolia [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1991 (in Chinese with English abstract).
- [13] 阎全人,李赠悦,李继亮,等. 岩石磁组构在断裂变形性状与期次研究中的应用—以广西博白—合浦断裂为例 [J]. 地质科学,2000,35(3):363-369.
Yan Quanren, Li Zengyue, Li Jiliang, et al. Application of rock magnetic fabrics in the study of fault—Exemplified by the Bobai—Hepu fault, Guangxi [J]. Scientia Geologica Sinica, 2000, 35(3): 363-369(in Chinese with English abstract).
- [14] 谈晓冬,江新华,郭亚滨,等. 浙东南碰撞造山带的岩石磁组构及其构造意义[J]. 地球物理学报,1995,38(6):806-814.
Tan Xiaodong, Jiang Xinhua, Guo Yabin, et al. Rock magnetic fabric of collisional orogenic zone from Southeast Zhejiang province and its tectonic implication [J]. Acta Geophysica Sinica, 1995, 38(6):806-814(in Chinese with English abstract).
- [15] 崔军文,唐哲民,邓晋福,等. 阿尔金断裂系[M]. 北京:地质出版社,1999.
Cui Junwen, Tang Zhemin, Deng Jinfu, et al. Altun Fault System [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1999 (in Chinese with English abstract).

Magnetic fabric features of the ductile shear zone in Sandaogou area of Inner Mongolia and their tectonic significance

HUANG Jun¹, LU Ru-kui^{1,2}, CHU Zhi-an³, ZHANG Yong-qiang⁴

(1. *Anhui Institute of Geological Survey, Hefei 230001, Anhui, China*; 2. *Key Laboratory of Continental Dynamics, Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069, Shaanxi, China*; 3. *No. 6 Geological Party, Shaanxi Bureau of Geological Exploration, Lintong 710060, Shaanxi, China*; 4. *Lizi Gold Mine Co., Ltd., China Gold Group Company, Tianshui 741005, Gansu, China*)

Abstract: The parameters of magnetic fabrics of deformed rocks such as K_{\max} , K_{int} , K_{\min} , P , T , F , L and E can be used to quantitatively display the behaviors of tectonic deformation. Characteristics of magnetic fabrics of the ductile shear zone in Sandaogou area of Inner Mongolia were analyzed in this study. The results show that most E values are larger than or close to 1; T values larger than 0 are more than those smaller than 0; P values are larger than 1, and the data in graphic variant Flinn of the $L-F$ parameters of magnetic fabrics are concentrated in the shear zone and the compression zone. It is indicated that the magnetic susceptibility ellipsoid mainly finds expression in flatted ball ellipsoid whose foliation is more developed than lineation. The rocks in Sandaogou ductile shear zone experienced a strong tectonic activity of extrusion shear mechanical mechanism. The stress, strain and deformation characteristics are consistent with field features and microstructure.

Key words: magnetic fabrics; Sandaogou ductile shear zone; Linhe-Jining fault .

About the first author: HUANG Jun, male, born in 1956, senior engineer, engages in the study of geology and mineral resources; E-mail: ahhuangju@163.com.