第 27 卷 第 1 期
2012 年 3 月:49-54

地 质 找 矿 论 丛
Contributions to Geology and Mineral Resources Research

Vol. 27 No. 1
Mar. 2012:49-54

doi: 10.3969/j.issn.1001-1412.2012.01.008

内蒙古兵图—大泉子金矿区韧性剪切带磁组构特征及其与金矿的关系

黄 俊[1],鲁如魁[2],吴家富[1],夏立元[1]

(1.安徽省地质调查院,合肥 230001;
2.西北大学地质学系大陆动力学国家重点实验室,西安 710069)

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。内蒙古兵图—大泉子一带韧性剪切带发育,并伴有金矿的产出。文章通过定向采取韧性剪切带内的岩石样品,测定岩石磁组构特征,认为该断裂面两侧形成一对顺时针方向力偶,促使兵图—大泉子一带的韧性剪切带呈右行走滑运动。韧性剪切带由于剪切生热和上地幔物质的上涌,在中下地壳发生高温高压变质作用,将热烘烤作用中形成的富含 CO_2 等偏碱性流体带入中上地壳,在剪切带的脆性构造中因温压下降和沸腾作用,使金矿物与多金属硫化物沿糜棱面理及显微裂隙分布,形成韧性剪切带型金矿。

关键词: 兵图—大泉子金矿;磁组构;韧性剪切带;找矿方向;内蒙古

中图分类号: P574.19;P618.51 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1412(2012)01-0049-06

0 引言

内蒙古兵图—大泉子金矿床位于察哈尔右翼中旗与察哈尔右翼后旗的交界处,现有的几处金矿(化)点均位于韧性剪切带内(图 1)。

在多数岩石中都含有一定量的铁磁性矿物,构造应力作用会使这些铁磁性矿物发生韧性变形和(或)动态重结晶并导致定向排列,从而使岩石呈现磁化率各向异性[1]。因此,本文试图通过变形岩石的磁组构特征来分析和探讨兵图—大泉子金矿区韧性剪切带的应力应变特征及与金矿的关系。

1 区域地质和矿区地质特征

1.1 区域地质背景

兵图—大泉子金矿区位于华北地台北缘,内蒙台隆、凉城断隆的东段,临河—集宁深断裂的南侧;区域构造变动强烈。

区内最基本的构造骨架是以乌拉山群为轴部的复式背斜,呈 60°~70°方向展布,以及近 EW 向的断层、韧性剪切带和与这些构造相伴生的次级近 SN 向的张性断裂。这些构造具有多期活动、叠加改造的特征。

区内大面积出露新太古界乌拉山群大理岩、片麻岩及覆盖其上的新近系汉诺坝组玄武岩。

区内岩浆岩发育,主要有华力西期的东壕欠闪长岩体,燕山期的乌兰巴山二长花岗岩体、羊房沟二长花岗岩体和宝石沟牧场二长花岗岩体等,岩体呈 NE 向展布。

1.2 矿区地质特征

矿区出露地层为新太古界乌拉山群,岩性为黑云(角闪)斜长片麻岩和大理岩,白色大理岩局部具透辉石化、蛇纹石化和铁锰矿化。

收稿日期: 2010-07-13; **责任编辑:** 王传泰

基金项目: 内蒙古自治区地质勘查局项目(编号:[2005]矿调 1—8)资助。

作者简介: 黄俊(1956-),男,高级工程师,长期从事地质矿产调查工作。通信地址:安徽省合肥市宁国路 19 号,安徽省地质调查院;邮政编码:230001;E-mail: ahhuangju@163.com

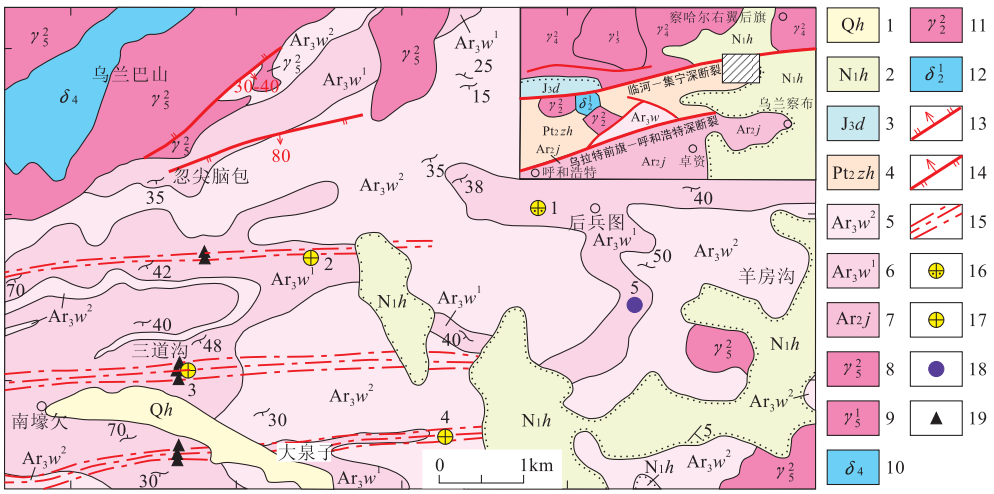

图 1 矿区地质简图及磁组构样品采样位置

Fig. 1 Geological sketch of Bing tu-Daquanzi Au propert y showing locations of Magnetic fabric samples

1. 第四系；2. 汉诺坝组玄武岩；3. 大青山组；4. 渣尔泰山群；5. 乌拉山群大理岩；6. 乌拉山群片麻岩；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. 中元古代花岗岩；12. 古元古代闪长岩；13. 正断层；14. 逆断层；15. 韧性剪切带；16. 砂金矿点；17. 金矿（化）点；18. 钨矿点；19. 磁组构样品采样位置

受区域基底构造的影响，矿区除生成一系列 NE 向展布的不规则紧密线型褶皱外，最主要的构造为近 EW 向断裂、蚀变破碎带、韧性剪切带，以及发育在破碎带内的次级构造和与之相配套的 SN 向、NE 向、NW 向断裂构造。这些断裂蚀变带与成矿有密切的关系。

矿区岩浆岩主要分布有燕山期二长花岗岩、华力西期闪长岩等。脉岩主要有石英斑岩脉、闪长岩脉、黄铁矿化石英脉等。

华力西期和燕山期岩浆活动形成复式岩体，并有由中基性向酸性演化的特点，从时间上和空间上对本区的成矿起到了很重要的作用。矿区地质简图见图 1。

2 分析方法及结果

本次工作垂直于三道沟一带的韧性剪切带系统地采集了 34 块大样，制小样 130 块。所有样品均在野外定向，室内切取边长为 1 cm 的立方体，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，1 个岩样共测 15 个值，通过计算机程序计算，得出 3 个主磁化率数值（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

有关研究表明，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[2-3]。当磁化率各向异性度 $P\geqslant1.10$，为强韧性剪切变形；$P=1.00\sim1.09$，为弱韧性剪切变形；$P<1.00$，表明岩石变形较弱，属于脆－韧性变形或脆性变形；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，仅有磁线理发育。

由表 1 可见，三道沟构造岩的 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）。上述测试结果表明磁化率椭球体主要表现为面理较线理发育的扁球型椭球体，反映出三道沟韧性剪切带的构造岩经历了力学机制为挤压剪切的强烈活动。

以磁性面理（F）和磁性线理（L）的对数值为轴

所作的变形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的应力作用。

表 1　三道沟韧性剪切带岩石磁组构要素测定及参数计算结果

Table 1　Measurements and calculation of the rock magnetic fabric elements of the Sandaogou ductile shear zone

样号	样数	K_1	K_2	K_3	K	P	E	T	F
4252-1	4	705	685	635	674	1.1118	1.0453	0.4075	1.0783
4252-2	4	837	799	761	799	1.0998	1.001	−0.0375	1.049
4252-3	4	902	869	831	867	1.086	1.0063	0.0875	1.0455
4252-4	4	1170	1090	1030	1090	1.1403	0.983	−0.2175	1.0583
4252-5	4	919	869	801	865	1.1478	1.024	0.185	1.0838
4252-6	2	883	819	685	796	1.2645	1.1095	0.48	1.1845
4252-7	4	770	726	695	731	1.1078	0.9878	−0.0375	1.0458
4252-8	4	886	838	783	835	1.1435	0.987	−0.0175	1.0605
4252-9	4	830	784	735	783	1.1308	1.0118	0.075	1.0688
4252-10	4	835	786	759	793	1.1063	0.9795	−0.2725	1.041
4252-11	4	694	678	655	675	1.0575	1.0105	0.05	1.0338
4252-12	4	874	835	800	837	1.0925	0.997	−0.1575	1.0435
4252-13	4	917	901	845	887	1.0845	1.0455	0.545	1.065
4252-14	4	752	718	691	720	1.0893	0.9915	−0.04	1.0385
4252-15	4	602	583	546	577	1.1033	1.0333	0.2925	1.0675
4252-16	1	590	504	445	513	1.328	0.97	−0.11	1.135
4252-17	1	512	480	342	445	1.495	1.318	0.69	1.404
4252-18	4	549	507	447	501	1.2518	1.072	0.1925	1.1568
4253-1	4	622	581	547	583	1.1385	0.994	−0.0875	1.0635
4253-2	4	614	600	579	598	1.0615	1.0108	0.15	1.036
4253-3	4	624	601	572	599	1.0885	1.0133	0.195	1.0503
4253-4	4	1120	1110	1090	1110	1.0263	1.0073	0.2025	1.0165
4253-5	4	956	944	919	940	1.0418	1.0123	0.25	1.0268
4253-6	4	835	815	784	811	1.0653	1.0168	0.1725	1.0405
4253-7	4	1280	1270	1210	1250	1.067	1.0385	0.54	1.0525
4253-8	3	888	862	827	859	1.0737	1.014	0.2267	1.0437
4253-9	4	980	950	925	952	1.0645	0.9938	0.0525	1.0283
4253-10	4	739	728	700	722	1.0568	1.0253	0.375	1.0408
1209-1	3	672	635	551	620	1.2223	1.0963	0.45	1.1577
1209-2	4	591	583	570	581	1.0358	1.011	0.2	1.0235
3268-1	3	754	747	734	745	1.0283	1.009	0.3467	1.0187
4247-1	4	712	704	682	699	1.0443	1.021	0.4875	1.0325
4247-2	4	888	877	801	856	1.1083	1.0783	0.72	1.093
4251-3	4	494	701	656	691	1.0915	1.046	0.4775	1.0683
4301-1	4	1010	967	914	964	1.11	1.0058	0.06	1.0563
4322-2	3	879	846	802	842	1.1147	1.021	0.3133	1.0657
4252-1	1.0313	87.5	29.625	4.15	31.575	262.725	18.75	82.725	71.25
4252-2	1.048	145.625	35.425	130.025	34.25	237.8	12.75	122.2	80
4252-3	1.039	37.4	12.225	187.55	19.95	16.775	33	106.775	46.5
4252-4	1.0775	171.95	19.8	9.525	29.8	77.075	40	77.075	50

续表 1

样号	L	D_1	I_1	D_2	I_2	D_3	I_3	D	I
4252-5	1.059	46.075	35.75	25.925	15	64.75	32.55	109.75	57.45
4252-6	1.0665	107.3	45.15	216.85	7.6	159.35	30.55	69.35	59.45
4252-7	1.0595	93.15	10.5	48.95	7.875	25.75	24.225	115.75	68.775
4252-8	1.0795	85.9	5.2	16.575	35.9	92.95	12.95	92.95	59
4252-9	1.0588	82.85	6.575	58.425	41.775	250.35	34.975	109.65	66.725
4252-10	1.063	63.25	7.1	27.8	41.625	14.9	25.05	104.9	53.25
4252-11	1.023	87.825	2.675	97.4	18.475	73.45	33.175	163.45	38.675
4252-12	1.0468	174.35	47.65	156.65	16.85	217.3	35.7	142.7	54.3
4252-13	1.0183	135.6	1.975	87.925	16.45	232.725	62.95	127.275	27.05
4252-14	1.049	167.775	25.325	50.875	45.1	17.725	26.05	107.725	63.95
4252-15	1.0333	163.525	2.5	175.775	13.025	228.975	20.275	131.025	50.275
4252-16	1.17	28.1	1.4	240.8	40	116.4	49.9	116.4	40.1
4252-17	1.065	156	33.2	230.6	22	113.5	48.4	113.5	41.6
4252-18	1.0818	154.95	33.025	129.375	30.9	49.4	21.7	94.4	56.1
4253-1	1.0705	20.95	8.45	111.925	36.3	133.65	25.5	43.65	64.5
4253-2	1.0248	27.525	7.8	71.9	50.725	160.35	33.1	70.35	56.9
4253-3	1.0368	7.875	8.275	95.6	51.55	236.925	22.15	56.925	55.65
4253-4	1.0093	76.1	14.575	207.675	5.275	223.175	27.175	136.825	62.825
4253-5	1.0145	30.35	12.675	149.2	3.425	246.425	29.275	113.575	60.725
4253-6	1.024	101.775	24.8	87.9	42.35	124.425	28.825	79.425	61.175
4253-7	1.0138	201.65	21.675	108.25	29.175	254.925	21.15	105.075	68.85
4253-8	1.029	142.333	25.667	172.2	18.667	245.3	31.733	114.7	58.267
4253-9	1.0353	147.775	14.675	206.475	12.775	242.4	27.775	117.6	62.225
4253-10	1.0153	204.75	6.8	198.975	11.35	265.975	41	94.025	49
1209-1	1.0563	77.1333	28.5	189.3	6.733	152.767	60.667	92.767	29.333
1209-2	1.0123	166.05	10.475	244.175	5.575	192.15	28.875	122.85	37.575
3268-1	1.0097	159.3	13.133	153.6	46.133	243.3	27.967	116.7	62.033
4247-1	1.0115	20.875	18.1	194.525	8.175	260.95	56.65	80.95	33.35
4247-2	1.014	129.325	9	36.825	7.1	250.375	43.05	109.625	46.95
4251-3	1.0215	160.45	0.7	130.875	41	262.4	39.625	97.6	50.375
4301-1	1.0513	158.65	0.125	193.1	5.575	80.4	29.975	80.4	60.025
4322-2	1.0433	68.6	53.833	84.467	8.1	229.067	1.567	109.067	56.167

注：量的单位：10^{-6}(SI)。K_1，K_2，K_3 分别是磁化率椭球体最大、中间和最小轴磁化率大小；K 为前三者的算术平均值；P(磁化率各向异性度)$=K_1/K_3$；F(磁面理)$=K_2/K_3$；L(磁线理)$=K_1/K_2$；E(磁化率椭球体的扁率)$=K_2^2/K_1\times K_3$；T(磁化率椭球体形状因素)$=(2\ln K_2-\ln K_1-\ln K_3)/(\ln K_1-\ln K_3)$。测试单位：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。

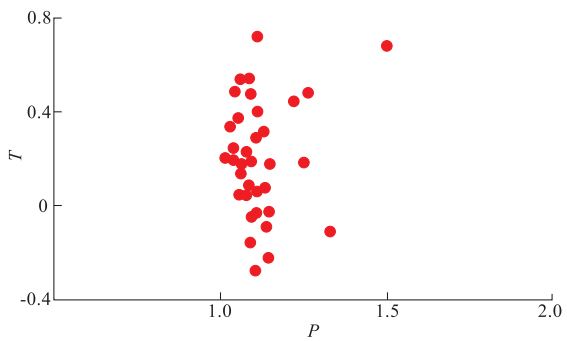

图 2 磁化率各向异性度与形状因素关系

Fig. 2 Shape of suseptibility ellipsoid vs anisotropy of suseptibility plot

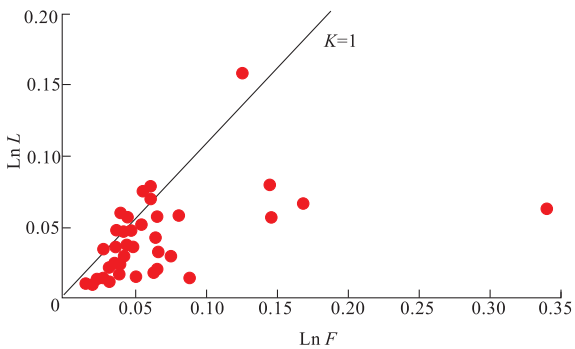

图 3 磁组构参数弗林图解

Fig. 3 Flinn diagram of magnetic fabric

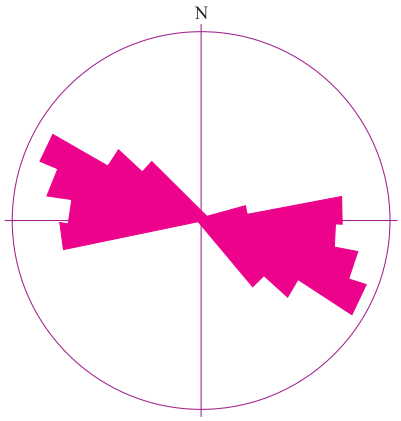

图 4　K_3 反映的主压应力(σ_1)玫瑰花图

Fig. 4　Rose diagram of principal stress (σ_1) reflected by K_3

3.2　韧性剪切带走滑运动的磁组构反映

在断裂面附近，绿泥石和磁铁矿等铁磁性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做出调整，能够准确地反映出剪切运动方向[4-5]。三道沟韧性剪切带所采集样品的 K_3 投影点多位于第二和第四象限内(图 4)。由于最小磁化率主轴(K_3)方位与构造面理垂直，代表了最大主压应力方向，说明该构造带所受到的主压应力呈 NWW-SEE 向，此主应力沿 NEE 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。

此外，韧性剪切带内发育超糜棱岩—糜棱岩—初糜棱岩等系列构造岩，区内糜棱面理产状多与片麻理一致，局部较陡，切割片麻理。沿糜棱面理有石英脉、煌斑岩脉侵入，并具一定程度的破碎。带内矿物细粒化现象明显，石英颗粒拉长，多呈拔丝状，长石呈细小碎斑包裹于片状矿物中。露头可见旋转碎斑系和 Ss-Sc 组构等指向构造，反映该组断裂具有明显的 NEE 向韧性右行走滑(图 5)。

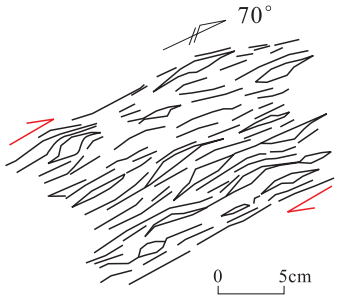

图 5　旋转碎斑指示右行走滑(大泉子)

Fig. 5　Dextral stricke slip of Daquanzi shear refrected by porphyroclast

NEE 向右行韧性走滑断裂切割最新地质体为印支期二长花岗岩，又常被区内其他方向断裂切割，是区内形成时代较早的断层。兵图—大泉子金矿区即位于该变形带中，变形带的构造活动无疑为成矿元素的迁移和富集提供了条件。

4　金矿床地质特征及成因

4.1　金矿地质特征

区内与韧性剪切带有关的金矿点 4 处，矿体厚 0.4～0.6 m 不等，长近百米，矿体沿倾向呈舒缓波状，沿走向有膨大和尖灭再现现象。多呈脉状、囊状产出。矿体走向不稳定，有 NW 向、NE 向和近 EW 向。

矿体主要产于大理岩中的破碎带、韧性剪切带内。硅化、铁锰矿化大理岩是主要的赋矿岩层。

矿石结构为自形—半自形粒状结构、变晶结构和隐晶质结构。矿石构造有蜂窝状构造和块状、角砾状构造等。

4.2　矿床成因

通常认为，金矿床或者金矿化带的形成要有一个矿源层。但对这种矿源层的性质及特点有不同的认识，就该区而言，金是来自于乌拉山群变质岩系(据 1∶5 万袁家房子等 4 幅矿调资料)和华力西、印支—燕山期的闪长岩、二长花岗岩体的岩浆流体[7-9]。

矿区早期受华北地台演化影响，新太古界绿岩地体于古生代开始活化解体。华力西期伴随着北部地槽的褶皱回返，西伯利亚板块由北向南俯冲，地幔物质沿区内深大断裂上涌，并交代一重熔乌拉山群矿源层，形成一套碱性—偏碱性岩浆流体。同时使乌拉山群成矿物质转移到岩浆中与地幔物质混合[10-11]。这种熔浆侵入到地壳深部形成侵入体或随着火山作用形成超浅成相次火山岩。在成岩过程晚期，由于剪切生热和上地幔物质的上涌，在中下地壳发生高温高压变质作用，韧性剪切带将热烘烤作用中形成的富含 CO_2 等偏碱性流体以及高结晶度的石墨微粒带入中上地壳(大泉子南约 3 km 处有一个石墨矿点)，在剪切作用的脆性阶段，温压下降和沸腾作用导致矿质沉淀，形成长英质韧性剪切带型金矿。

在韧性剪切带内形成金矿需要有一种含金流体，这种流体的性质、来源则一直是讨论的热点。根据本区地质事件的演化特征认为：早期的韧性剪切变形变质作用过程中形成含金变质流体，集中在该带中形成金矿化带；后期多次构造变形作用的叠加及岩浆流体叠加改造导致金的进一步富集，使得本区的金矿具有多阶段、多成因的特点。

综上所述，兵图—大泉子金矿床的产出受韧性剪切带控制，其成矿是在区域变质、混合岩化、糜棱岩化、岩浆热液（流体）等因素作用下，成矿物质经过多阶段迁移沉淀而富集成矿的[6]。

致谢：本文是安徽省地质调查院和内蒙古自治区有色地质矿产勘查局 609 队 1∶5 万袁家房子等 4 幅矿调项目组全体成员共同劳动的结晶。感谢黄琳总工程师在成文过程中的热情帮助和指导！

参考文献：

[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.

[2] 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 (2)：134.

[3] 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.

[4] 陈柏林. 应用磁组构方法研究构造变形与成矿作用的时序关系[J]. 高校地质学报，1999，5(3)：270-274.

[5] 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.

[6] 陈柏林，吴淦国，叶得金，等. 北山南带韧性剪切带构造与金矿成矿动力学[M]. 北京：地震出版社，2003.

[7] 陈纪明，刘纲. 内蒙古乌拉山—大青山绿岩型金矿床地质[M]. 北京：地质出版社，1996.

[8] 邵世才. 试论韧性剪切作用与金的成矿[J]. 贵金属地质，1996，5(2)：142-145.

[9] 刘志刚. 内蒙古乌拉山—大青山地区金矿成矿地质条件及成矿规律[J]. 矿产与地质，2000，14(4)：230-233.

[10] 胡凤翔，黄占起，李四娃，等. 内蒙古中部地区绿岩及绿岩型金矿成矿地质特征[J]. 前寒武纪研究进展，2002，25(3/4)：190-198.

[11] 王军. 甘肃北山南带韧性剪切带型金矿床(点)地质特征及找矿方向[J]. 地质找矿论丛，2005，20(增刊)：33-39.

Magnetic fabrics characters of Inner Mongolian Bingtu-Daquanzi ductile shear zone and the relation with gold deposit

HUANG Jun[1], WU Jia-fu[1], LU Ru-kui[2], XIA Li-yuan[1]

(1. *Anhui Institute of Geological Survey, Hefei* 230001, *China*;
2. *Department of Geology, Key Laboratory of Continental Dynamics, Northwest University, Xi'an* 710069, *China*)

Abstract: Magnetic fabric parameters ($K_1, K_2, K_3, P, T, F, L, E$) of deformed rocks can be used to quantitatively analyze and understand characters of structural deformation. At Bingtu-Daquanzi area ductile shear zone is developed and acompanued by gold deposit. Meassurement of the directively collected samples in the ductile shear zone shows certain magenatic fabric characters. Based on the characters we believe that a pair of clockwise couple was formed on the both sides of the discontinuous plane to make Bingtu-Daquanzi ductile shear zone strike-slip in right dirction. The shear heating and upwelling of upper mantle materials lead to high temperature and pressure metamorphism at middle-lower crust in the extent of the ductile shear zone and sub-alkalic CO_2-rich fluid resulted from heat drying effect were brought to the mid-upper crust where Au minerals and polymetallic sulfides precipitate along foliations and micro-fractures of myllonite in brittle zone due to release of pressure and boiling to form ductile shear zone type gold deposit.

Key Words: Bingtu-Daquanzi gold deposit; magnetic fabric; ductile shear zone; ore-searching direction; Inner Mongolia