

阿尔泰山南缘东段变形岩石磁组构分析

陈柏林¹, 张招崇², 闫升好³, 何立新⁴, 周刚⁴, 李丽¹, 蒋荣宝¹, 王祥⁴,
张小林⁴, 杨文平⁴

1. 中国地质科学院 地质力学研究所, 北京 100081
2. 中国地质科学院 地质研究所, 北京 100037
3. 中国地质科学院 矿产资源研究所, 北京 100037
4. 新疆第四地质队, 新疆 阿勒泰 836500

Chen Bailin¹, Zhang Zhaochong², Yan Shenghao³, He Lixin⁴, Zhou Gang⁴, Li Li¹,
Jiang Rongbao¹, Wang Xiang⁴, Zhang Xiaolin⁴, Yang Wenping⁴

1. *Institute of Geomechanics, CAGS, Beijing 100081, China*
2. *Institute of Geology, CAGS, Beijing 100037, China*
3. *Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, China*
4. *No. 4 Geological Party of Xinjiang, Altay 836500, China*

Chen Bailin, Zhang Zhaochong, Yan Shenghao, et al. Analyses of the rock magnetic fabric in eastern part of southern Altay margin area. Xinjiang. *Earth Science Frontiers*, 2007, 14(3): 138-148

Abstract: The magnetic fabric represents rock's susceptibility anisotropy. Magnetic fabric analytic method has been widely used in geology for structural deformation analysis. Magnetic fabric of the rocks in eastern part of southern Altay margin area, Xinjiang, northwest of China, shows that they have a high value of P , indicating that their magnetic anisotropy is prominent. E value of the rocks in the Sa'erbulake-Kekesayi brittle compressional cleavage belt and Mayin'ebo ductile shear-compressional belt was found to be greater than zero; magnetic foliation well developed and lineation developed only in a part of samples; implying that compressional deformation was well developed in the area. The sense of maximum compressive stress across the NW trending structural belts was NE (NEE) and there was partly a shear deformation along the belts with left-lateral shearing. In Dalaweizi-Areletebie shear rheomorphic belt and Xibodu-Fuyun deep ultra-ductile crystalloblast mylonite belt, rocks' magnetic fabric showed well developed magnetic foliation and lineation, and their E value was either above zero or below zero, giving indications that these two belts were subjected to shear deformation, and that the sense of maximum compressive stress of Dalaweizi-Areletebie belt was NE (NEE) trending indicating a left-lateral shearing, but the sense of maximum compressive stress of Xibodu-Fuyun belt was SN trending showing a right-lateral shearing. Magnetic fabric analysis revealed that value of P of some altered-mineralized deformed rocks from Halasu Cu-deposit and Kalaxian'ge'er-Laoshankou area belonging to the Dalaweizi-Areletebie belt was very low, displaying that there were late mineralization and alteration weakened and isotropic susceptibility in the area. Combined with the regional structure analysis, we suggested that the three belts, i. e., the belts of Sa'erbulake-Kekesayi, Dalaweizi-Areletebie and Mayin'ebo, constituted a complete plate (micro landmass) condensation zone underthrust by the Kalatongke island arc toward northeast to the Keketuohai-Qinghe magmatic arc and collision of the two arcs; and that the Xibodu-Fuyun belt was probably a

收稿日期: 2007-03-13; 修回日期: 2007-05-03

基金项目: 国家“305”项目(2001BA609A-07-02)

作者简介: 陈柏林(1962—), 男, 博士, 研究员, 主要从事区域构造、矿田构造和岩石变形组构研究。Tel: 68486764, 13693186258

relict (or a thin fault piece) of a micro-landmass with pre-Sinian crystalline basement reformed strongly in the Paleozoic.

Key words: magnetic fabric; deformed rock; structure analysis; east part of southern Altay margin area; Xinjiang

摘要:磁组构是指岩石磁化率的各向异性,磁组构方法已经被广泛应用于构造变形分析。阿尔泰山南缘东段地区岩石磁组构特征是磁各向异性度 P 值大,反映本区总体韧性剪切变形强烈。萨尔布拉克—科克萨依脆性劈理化带和玛因鄂博韧性剪压构造带的 $E>0$ 占优势,磁面理发育,部分样品磁线理发育,反映变形以压扁变形为主,主压应力方向为 NE(NEE)向,伴随弱的左行剪切;达拉维孜—阿热勒托别韧性流变构造带和锡泊渡—富蕴深层次次变晶糜棱岩带 $E>0$ 和 $E<0$ 均存在,磁面理和磁线理均发育,反映以剪切变形为主;其中达拉维孜—阿热勒托别构造带主压应力方向为 NE(NEE)向,为左行剪切,而锡泊渡—富蕴构造带主压应力方向为 SN 向,为右行剪切。在达拉维孜—阿热勒托别构造带中的哈腊苏铜矿和卡拉先格尔—老山口一带一些叠加蚀变矿化的强变形岩石的 P 值明显减小,说明在韧性变形之后发生过矿化热液作用导致磁化率各向异性发生了均一化。结合区域构造分析,可以认为萨尔布拉克—科克萨依构造带、达拉维孜—阿热勒托别构造带和玛因鄂博构造带构成一个完整的板块碰撞聚合带,而锡泊渡—富蕴构造带可能为在古生代期间被强烈改造的具有前震旦纪结晶基底的微大陆的残留(或断片)。

关键词:磁组构;变形岩石;构造分析;新疆阿尔泰山南缘东段

中图分类号:P318.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1005-2321(2007)03-0138-11

阿尔泰山地处中亚腹地,横亘中国、蒙古和哈萨克斯坦三国,其独特的地质构造格局和矿产资源分布引起了国内外许多地质学家的关注。在 20 世纪 70 年代完成了 1:20 万区域地质调查之后的 30 多年里,先后有国家“305”攻关、国家自然科学基金、北方板块构造等项目在该区实施,对阿尔泰地区的地质构造、岩浆活动、成矿作用和地壳演化都进行了比较全面系统的研究,取得了一批重要成果。肖序常等^[1]、李锦轶等^[2]、杨树德^[3]、成守德等^[4]、韩宝福等^[5]和舒良树等^[6]阐述了阿尔泰地区古生代板块构造演化基本特征、陆壳基底类型和大陆增生构造形式;而张朝文等^[7]、杨新岳等^[8]和李志纯等^[9]对阿尔泰造山带形成和南缘地区区域构造的主要式样开展研究,认为存在范围广泛的推覆构造、滑覆构造和韧性剪切带。对阿尔泰构造带南缘东段(相当于额尔齐斯构造带)的变形特征,曲国胜^[10-11]最早提出“额尔齐斯挤压带”的认识,后被认为是大型韧性剪切带,并把该构造带西段(也称玛尔卡库里段)上的哈巴河等地的多拉那萨依和赛都金矿床、中东段的萨尔布拉克和科克萨依金矿床、布尔根地区金矿床都归为受大型韧性剪切带控制的金矿床类型^[7,12-14]。上述研究无疑加深了阿尔泰地区地质构造及其演化的认识,但是对于一些关键地质问题仍然存在比较大的争议,如阿尔泰山的地壳是古活动陆缘增生岩系或古生代造山带还是在古生代期间被强烈改造的具有前震旦纪结晶基底的微大陆^[15]、额尔齐斯构造

带变形性质是挤压带还是韧性剪切带等。同时前述的研究成果大多数限于大地构造、区域构造等较大尺度范围,一些认识缺少中小构造依据和露头-微构造尺度的岩石变形特征依据,而开展变形岩石组构方面的测试分析、变形物化条件的探讨研究就显得更少。

岩石变形组构分析是指运用岩石中的标志体,用几何方法,或者运用岩石中矿物物性,用一定的测试技术确定岩石的变形程度、变形方式和变形机制。阿尔泰山南缘东段地区岩石具有明显的韧性-韧脆性等宏观变形。本文运用磁组构测定方法,在分析阿尔泰山南缘东段地区不同构造带变形岩石的磁组构异同特点的基础上,探明其构造变形运动学和动力学特点,并结合宏观变形特点,探讨构造变形环境和主要构造带的属性。

1 区域构造背景

研究区位于阿尔泰造山带南缘东段,即富蕴—青河段,也相当于额尔齐斯构造带的东段。区域地质资料表明,晚古生代,由于准噶尔洋向西伯利亚板块俯冲消减,地处西伯利亚板块南缘的阿尔泰地区形成了较为完整的沟-弧-盆体系;早石炭世末,洋盆闭合,哈萨克斯坦-准噶尔和西伯利亚两大大陆发生碰撞造山,形成古生代增生造山带。本文涉及的阿尔泰山南缘东段即相当于喀拉通克岛弧与可可托海-青

河陆缘岩浆弧之间的弧-陆碰撞带^[2-6]。

区内自下而上依次出露的岩系是:中—上奥陶统哈巴河群结晶片岩、片麻岩、混合岩夹大理岩,志留系库鲁姆提群结晶片岩、变质酸性火山岩和砂砾岩,下泥盆统康布铁堡组(玛因鄂博组)片麻岩、片岩和变质流纹岩,下泥盆统托让格库都克组中酸性火山岩夹凝灰岩,中泥盆统北塔山组中基性火山岩夹硅质岩、凝灰质碎屑岩,中泥盆统阿勒泰组角闪片岩夹片麻岩,中泥盆统蕴都喀拉组中酸性火山岩夹火山碎屑岩,下石炭统黑山头组凝灰质碎屑岩夹生物碎屑灰岩,下石炭统南明水组砂岩、粉砂岩夹砾

岩、凝灰岩、炭质板岩,中石炭统哈尔加乌组英安斑岩、凝灰角砾岩和酸性凝灰熔岩,上石炭统喀喇额尔齐斯组硅质岩、片岩、片麻岩、混合岩夹变质酸性火山岩,以及少量二叠系碎屑岩和侏罗系含煤碎屑岩系。同时,区内出露比较多的海西期中酸性岩浆岩,大多数呈带状、条带状展布,以阿尔泰山腹地及其以北地区尤为明显,往北渐呈面状出露。本文涉及的阿尔泰山南缘东段地区岩浆岩出露相对较少。

根据地表展布和构造变形特征可以将阿尔泰山南缘构造带划分为4个次级构造变形带,即萨尔布拉克—科克萨依脆性挤压劈理化带、锡伯渡—富

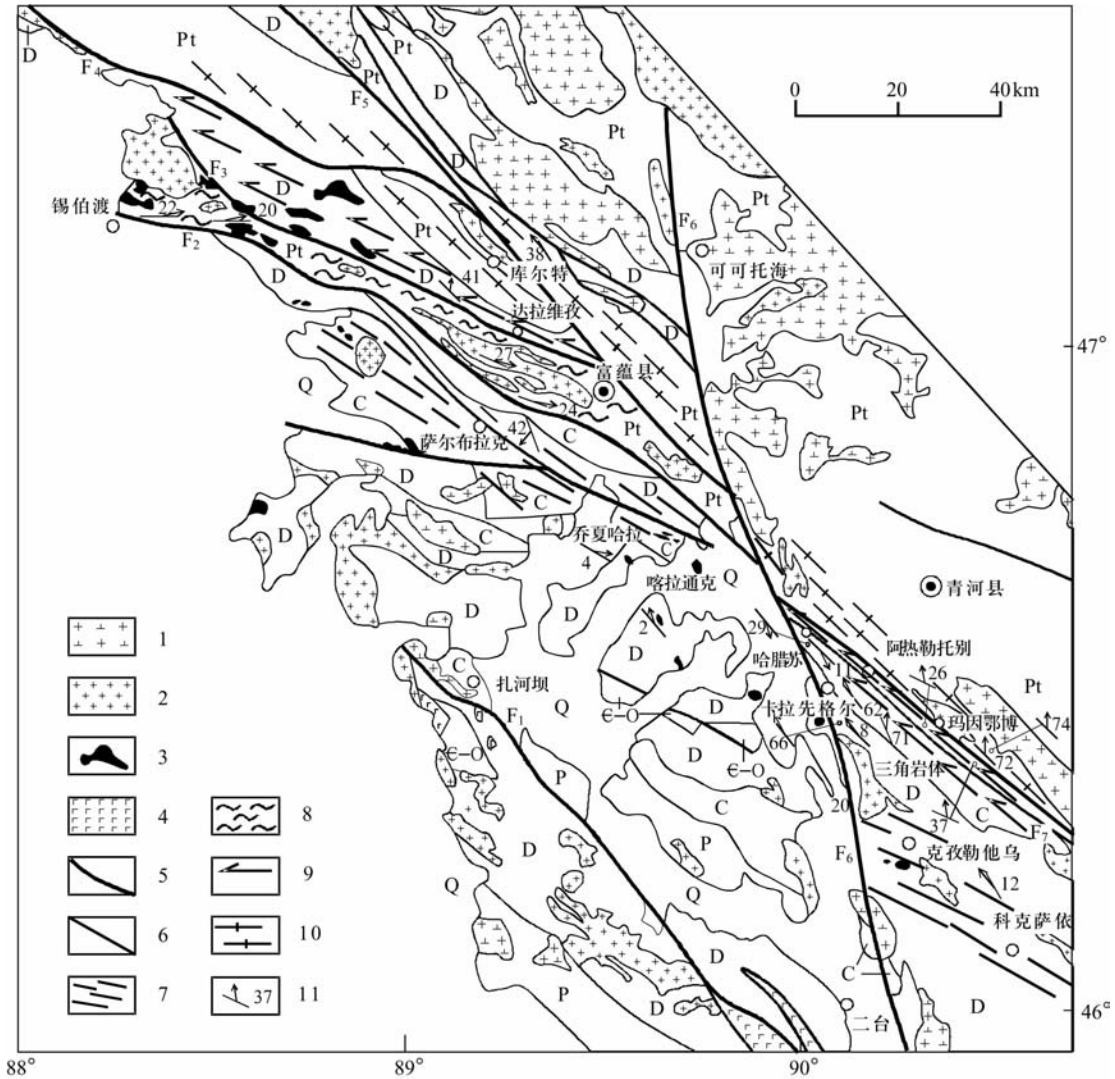


图1 阿尔泰山南缘东段区域构造简图

Fig. 1 Regional structure map of eastern part of southern Altay margin area

Q—第四系;P—二叠纪陆相火山岩;C—石炭纪砂岩和火山碎屑岩;D—泥盆系海相火山岩;E—O—寒武纪—奥陶纪砂岩和灰岩;Pt—元古宙片岩、片麻岩;1—泥盆纪—石炭纪花岗岩;2—二叠纪花岗岩;3—铁镁质岩;4—超铁镁质岩;5—区域性断裂;6—一般断裂;7—脆性挤压劈理化带;8—韧性变质糜棱岩带;9—韧性剪切流变构造带;10—韧脆性剪压构造带;11—磁面理、磁线理投影;F₁—乌伦古断裂;F₂—额尔齐斯断裂;F₃—特斯巴汗断裂;F₄—康布铁堡断裂;F₅—阿巴宫—库尔特断裂;F₆—可可托海—二台断裂;F₇—玛因鄂博断裂

蕴深层次超韧性变晶糜棱岩带、达拉维孜—阿热勒托别剪切流变构造带、库尔提—玛因鄂博韧性剪压变形带(图 1)。

2 原理与测定

岩石磁组构分析是指利用岩石磁化率各向异性来研究岩石的组构特征。磁组构的结晶学特点是岩石中磁性矿物的颗粒或晶格的定向以及它们的组合,物理实质是磁化率各向异性,表现形式为磁化率椭球的形状和方向。磁组构作为地质研究手段最早由 Graham^[16]提出来的,但真正得到普遍应用是 20 世纪 70 年代后期开始的,主要应用于构造地质及环境地质等问题的研究领域^[17-21]。

Kligfield 等^[17]将磁化率各向异性作为应变标志应用于加拿大安大略盆地粘土岩研究;Rathore^[19-20]和 Kligfield 等^[18]探讨了英格兰湖区板岩和瑞士阿尔卑斯地区鲕状灰岩磁化率各向异性及其与应变的关系;众多研究表明,岩石应变椭球与磁化率椭球之间的 3 个主轴相互平行,具有共轴关系,它们的长度之比存在幂指数的关系。因此,磁化率椭球可以用来代替应变椭球,用其形态和空间定向来分析构造变形的性质和应力作用的方式和方向。对于缺乏应变标志体、应变椭球难以确定的地区的变形研究,磁组构方法尤为实用^[22-23]。

近年来,磁组构方法得到了更广泛的应用,张达等^[24]将磁组构方法应用于岩体侵位机制的分析;陈柏林等^[25-26]首次将磁组构方法应用于矿田构造分析,从后期矿化热事件对磁各向异性的部分均一化现象来探讨某些矿床中构造变形与矿化的时序关系和矿化机制,并通过对磁各向异性与应变轴率的对比,试图探讨不同岩性岩石的磁化率椭球与应变椭球轴比关系式 $(K_j/K_i) = (L_j/L_i)^a$ ($i, j = 1, 2, 3, i \neq j$)中幂指数 a 值的大小。

对阿尔泰南缘东段不同构造变形带、不同变形程度和不同原岩类型的变形岩石,共计选择 75 个样品进行测试,获得的测试结果见表 1。

测试工作由中国地质大学(北京)古地磁实验室完成,采用 KLY-1 型卡帕桥测定仪进行测试,通过转动标本测出 15 个方向的岩石磁化率值,运用最小二乘法,求出样品的磁化率张量的主磁化率 K_{\max} 、 K_{int} 、 K_{\min} (或 K_1 、 K_2 和 K_3),并运用微机程序求出样品的磁化率椭球的特征值(磁化率各向异性度 P

值、磁线理 L 、磁面理 F 、磁椭球扁率 E 和磁椭球形状因素 T 以及主磁化率轴的空间坐标)。

3 磁组构反映的构造变形特点

从磁组构各项测试数据,对本区的构造变形特点可以得出以下认识。

(1)从磁各向异性度数值频数(图 2)来看,总体 P 值非常大,75 个样品中 $P > 1.10$ 的有 45 个、 $P > 1.20$ 的有 29 个、 $P > 1.30$ 的有 21 个、 $P > 1.50$ 的有 7 个,其中最大 P 值为 2.069 9(23 号 K31-8 样品),反映阿尔泰构造带南缘东段总体构造变形强烈(表 1,图 2)。

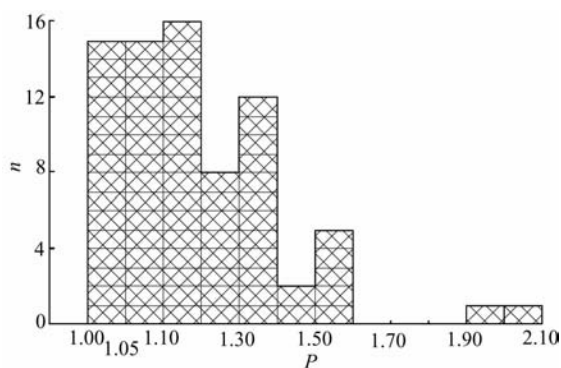


图 2 磁各向异性频率图

Fig. 2 Frequency distribution of susceptibility anisotropy

从区域上分析,不同构造变形带岩石磁各向异性度变化比较大(表 1、表 2,图 3)。锡泊渡—富蕴构造带和玛因鄂博构造带变形岩石 P 值都非常大,锡泊渡—富蕴构造带 13 个样品(表 1 中 17~25、27、28、40、41)平均 P 值 1.346 2,玛因鄂博构造带 9 个样品(表 1 中 31、36~39、72~75)平均 P 值 1.316 0;而萨尔布拉克—科克萨依构造带、卡拉先格尔—老山口构造变形带和哈腊苏铜矿区变形岩石 P 值相对小许多,萨尔布拉克—科克萨依构造带 10 个样品(表 1 中 1~4、42、50~54)平均 P 值 1.132 7,卡拉先格尔—老山口构造变形带 29 个样品(表 1 中 5~9、43~49、56~71)平均 P 值 1.153 4,哈腊苏铜矿区 9 个样品(表 1 中 9~11、16、29、30、34、35、55)平均 P 值 1.133 3,克孜勒他乌地区构造变形带变形岩石 P 值更小(表 1 中 12~15)。

P 值能够反映构造变形强度,但是容易受到后期热事件的影响而发生磁各向异性的均一化。锡泊渡—富蕴构造带磁各向异性 P 值大,说明该构

表 1 阿尔泰山南缘东段地区岩石磁组构参数一览表

Table 1 Parameters of magnetic fabrics of the rocks in the east part of southern Altay margin area

序 号	样品野 外编号	样品位置	岩 性	最大磁化 率 $K_1/10^6$	中间磁化 率 $K_2/10^6$	最小磁化 率 $K_3/10^6$	磁各向异 性 P	磁畴球 扁率 E	磁畴球 状因素 T	磁组理 L	最大磁化率 产状($^{\circ}$)		中间磁化率 产状($^{\circ}$)		最小磁化率 产状($^{\circ}$)		磁面理产 状($^{\circ}$)		宏观面理 产状($^{\circ}$)		
											倾向 D_1	倾角 I_1	倾向 D_2	倾角 I_2	倾向 D_3	倾角 I_3	倾向	倾角	倾向	倾角	
1	K1-1	卡拉通克铜矿	弱矿化变形辉长岩	10.87	9.115	6.830	1.591 4	1.118 9	0.241 9	1.192 5	272.8	11.4	182.6	2.6	79.2	78.2	259.2	11.7	290	70	
2	K2-1	卡拉通克铜矿	弱变形辉长岩	188.9	187.9	185.9	1.016 3	1.005 1	0.316 4	1.010 7	1.005 5	350.6	83.3	141.5	5.8	231.8	3.2	51.8	86.7	260	85
3	K4-1	乔夏哈拉铁矿	弱变形基性火山岩	2.095	2.033	1.971	1.062 9	1.001 7	0.028 0	1.031 8	1.030 1	265.2	73.8	100.7	15.6	19.4	4.0	189.4	85.9	15	90
4	K11-2	乔下哈拉铁矿	片理化灰岩	0.677 7	0.675 9	0.665 5	1.018 3	1.012 9	0.707 0	1.015 6	1.002 6	101.5	29.9	335.4	45.6	210.3	29.2	30.3	60.7	25	57
5	K15-2	老山口	蚀变变形闪长岩	1.750	1.746	1.731	1.010 9	1.006 0	0.552 5	1.008 5	1.002 4	332.5	14.7	214.3	60.8	69.4	24.4	249.4	65.5	235	80
6	K15-3	老山口	蚀变基性火山岩	10.58	10.21	9.818	1.077 9	1.004 9	0.065 3	1.040 8	1.035 2	158.0	18.9	28.7	61.4	255.2	20.4	75.2	69.5	80	65
7	K15-4	老山口	蚀变基性火山岩	6.151	6.049	5.759	1.068 0	1.033 0	0.493 7	1.050 4	1.016 8	99.6	31.9	306.3	55.0	197.5	12.5	17.5	77.4	40	55
8	K15-5	老山口	强变形基性火山岩	641.9	543.2	467.0	1.374 5	0.984 3	-0.049 6	1.163 1	1.181 7	135.2	2.8	40.4	58.9	226.8	30.9	46.8	59.0	50	80
9	K18-2	哈腊苏铜矿	蚀变变形安山岩	1.090	1.072	1.068	1.020 7	0.988 0	-0.585 4	1.004 2	1.016 4	203.1	53.4	355.1	33.1	94.1	13.5	274.1	76.4	230	70
10	K18-7	哈腊苏铜矿	变形辉斑岩	17.67	16.68	15.60	1.132 7	1.009 5	0.076 0	1.069 3	1.059 2	158.0	35.1	302.5	49.1	54.6	18.0	234.6	71.9	230	70
11	K18-8	哈腊苏铜矿	蚀变变形辉斑岩	13.97	13.92	13.60	1.026 9	1.020 1	0.750 3	1.023 5	1.003 3	154.1	26.0	344.9	63.5	246.1	4.2	66.1	85.7	230	70
12	K21-1	克孜勒他乌	弱变形二长斑岩	0.955 1	0.926 0	0.904 8	1.055 5	0.992 2	-0.143 3	1.023 4	1.031 4	321.9	11.4	219.0	47.6	60.7	40.0	241.7	49.9	250	75
13	K22-1	克孜勒他乌	弱变形硅质岩	-0.106 7	-0.101 1	-0.093 4	1.096 1	0.985 1	-0.162 6	1.039 1	1.054 2	201.2	30.4	307.4	25.2	69.5	48.5	249.5	41.4	255	60
14	K22-3	克孜勒他乌	强变形花岗岩斑岩	29.27	26.08	23.35	1.253 4	0.994 9	-0.022 5	1.116 7	1.122 4	322.8	17.7	224.5	24.4	85.1	59.0	265.1	30.9	5	50
15	K23-1	克孜勒他乌	变形花岗岩斑岩	0.220 2	0.218 0	0.216 5	1.016 9	0.997 1	-0.177 1	1.006 9	1.009 8	253.0	10.3	150.4	49.8	351.4	38.2	171.2	51.7	315	40
16	K24-1	哈腊苏铜矿	强变形闪长斑岩	113.3	98.27	86.13	1.315 8	0.989 3	-0.039 1	1.140 9	1.153 2	93.5	43.5	267.2	46.2	0.5	3.1	180.5	86.8	10	75
17	K31-1	635 水库北侧	黑云角闪质糜棱岩	245.8	203.5	179.6	1.369 0	0.938 0	-0.203 6	1.133 2	1.208 0	101.5	57.0	259.5	31.0	355.7	9.9	175.6	80.0	175	80
18	K31-2	635 水库北侧	黑云角闪质糜棱岩	328.3	289.0	251.8	1.303 7	1.010 3	0.038 8	1.147 7	1.135 9	124.1	43.4	243.6	27.5	354.3	34.0	174.2	55.9	165	55
19	K31-4	635 水库北侧	钾长质糜棱片麻岩	104.7	73.27	67.93	1.541 5	0.754 5	-0.650 9	1.078 4	1.429 3	8.5	36.9	184.6	53.0	277.3	1.9	97.2	88.0	185	80
20	K31-5	635 水库北侧	角闪质糜棱片麻岩	268.7	204.1	173.8	1.546 1	0.891 9	-0.262 3	1.174 3	1.316 6	89.7	20.2	288.2	68.7	182.0	6.1	2.0	83.8	180	85
21	K31-6	635 水库北侧	黑云二长石英片岩	103.9	95.29	81.272	1.278 9	1.074 9	0.293 8	1.172 5	1.090 7	90.3	21.3	288.3	67.7	182.7	6.7	2.7	83.7	180	85
22	K31-7	635 水库北侧	花岗质糜棱片麻岩	0.388 3	0.379 9	0.373 3	1.039 8	0.995 9	-0.103 4	1.017 6	1.021 7	87.8	13.3	309.2	72.4	180.4	11.1	0.4	78.8	170	85
23	K31-8	635 水库北侧	眼球状变晶糜棱岩	294.8	202.9	142.4	2.069 9	0.980 4	-0.027 2	1.424 5	1.453 0	95.5	14.2	268.2	75.5	5.0	1.7	185.0	88.2	180	80
24	K33-1	比尔萨尔布拉克	角闪斜长糜棱片麻岩	73.59	69.06	62.26	1.181 8	1.040 9	0.240 3	1.109 1	1.065 5	105.1	12.3	296.2	77.4	195.6	2.3	15.6	87.6	0	80
25	K35-1	比尔萨尔布拉克	花岗质糜棱片麻岩	13.04	11.93	10.74	1.213 7	1.015 3	0.078 7	1.110 1	1.093 3	91.0	20.7	286.3	68.5	183.0	5.1	3.0	84.8	0	80
26	K40-1	蒙库铁矿	黑云母石英片岩	14.64	14.56	13.46	1.087 9	1.075 2	0.860 9	1.081 5	1.005 8	28.0	69.6	284.2	5.0	192.4	19.6	12.4	70.3	10	65
27	K41-1	苏普特河口	花岗质糜棱片麻岩	1.556	1.537	1.412	1.102 0	1.075 0	0.774 3	1.088 4	1.012 5	112.2	13.4	324.5	72.7	204.4	8.9	24.4	81.0	20	80
28	K44-1	苏普特河	变形流纹岩	57.34	47.63	41.95	1.366 8	0.943 0	-0.187 5	1.135 3	1.203 8	105.1	4.4	18.9	53.9	198.2	35.7	18.2	54.2	18	77
29	K49-2	哈腊苏铜矿	变形二长斑岩	612.8	538.1	457.5	1.339 4	1.037 0	0.110 3	1.176 1	1.138 8	171.2	37.1	294.0	35.5	51.5	33.0	231.5	56.9	225	55
30	K50-1	哈腊苏铜矿	强变形二长斑岩	42.42	37.42	34.55	1.227 8	0.955 1	-0.223 3	1.082 9	1.133 7	124.5	56.2	318.2	33.0	224.0	6.2	44.0	83.7	50	75
31	K51-1	玛因鄂博变形带	变形正长斑岩	1.206 3	1.178 2	1.067 9	1.129 5	1.007 5	0.613 1	1.103 2	1.023 8	353.12	34.60	95.32	17.05	206.99	50.28	26.99	39.72	35	46
32	K56-1	新山口	变形玄武岩	316.96	285.92	256.95	1.233 5	1.003 2	0.017 9	1.112 7	1.108 5	314.71	48.88	159.52	38.39	59.41	12.49	239.41	77.51	250	80
33	K62-1	拖斯巴斯陶	变形正长斑岩	1.968 2	1.900 1	1.806 1	1.089 8	1.015 7	0.180 7	1.052 1	1.035 9	265.41	73.68	145.37	6.30	54.19	10.56	234.19	79.44	245	78
34	K65-1	哈腊苏铜矿	蚀变变形辉斑玄武岩	11.975	11.732	11.453	1.045 6	1.003 5	0.077 4	1.024 3	1.020 8	330.00	52.45	135.88	36.69	230.99	6.87	50.99	83.13	235	87
35	K65-3	哈腊苏铜矿	蚀变长英质糜棱岩	1.014 0	1.001 6	0.979 2	1.035 5	1.010 3	0.294 5	1.022 8	1.012 4	29.73	75.63	128.28	2.14	218.82	14.20	35.82	75.80	40	70
36	K74-1	玛因鄂博变形带	变形安山质凝灰岩	133.58	127.13	88.390	1.511 3	1.368 9	0.760 3	1.438 3	1.050 7	20.07	41.52	287.95	2.40	195.24	48.38	15.24	41.62	25	45
37	K75-1	玛因鄂博变形带	变形安山质凝灰岩	0.428 0	0.418 7	0.344 5	1.242 2	1.180 9	0.798 7	1.215 4	1.022 1	1.70	46.35	108.62	15.57	211.91	39.51	31.91	50.49	36	53

续表

序 号	样品野 外编号	样品位置	岩 性	最大磁化 率K ₁ /10 ³	中间磁化 率K ₂ /10 ³	最小磁化 率K ₃ /10 ³	磁各向异 性P	磁椭圆扁率E	磁球状因素T	磁面理 F	磁线理 L	最大磁化率 产状(°)		中国磁化率 产状(°)		最小磁化率 产状(°)		磁面理产 状(°)		宏观面理 产状(°)	
												倾向D ₁	倾角I ₁	倾向D ₂	倾角I ₂	倾向D ₃	倾角I ₃	倾向	倾角	倾向	倾角
38	K82-1	苏普特北	黑云母石英片岩	64.337	47.410	33.853	1.900 5	1.032 0	0.049 0	1.400 4	1.357 0	298.02	66.65	152.50	19.33	58.17	12.14	238.17	77.86	220	85
39	K82-2	苏普特北	黑云母石英片岩	1.088 8	1.059 3	0.955 5	1.139 5	1.078 6	0.579 5	1.108 6	1.027 8	44.75	66.36	64.88	5.19	224.89	23.64	44.88	66.36	40	70
40	K83-1	库尔堤河下游	黑云母斜长片麻岩	3.529 7	3.393 5	3.039 7	1.161 2	1.073 3	0.473 5	1.116 4	1.040 1	42.38	45.00	134.73	2.34	226.90	44.91	64.90	45.09	42	52
41	K84-1	库尔堤河下游	黑云母斜长片麻岩	729.39	614.78	514.77	1.416 9	1.006 6	0.018 9	1.194 3	1.186 4	32.69	51.37	128.83	4.89	222.69	38.20	42.69	51.80	30	55
42	K89-1	萨尔布拉克金矿	变形凝灰质砂岩	3.202 6	2.983 9	2.728 5	1.173 8	1.018 9	0.116 8	1.093 6	1.073 3	237.14	69.88	338.99	4.63	70.64	19.58	250.64	70.42	240	70
43	K106-1	卡拉先格勒	变形蚀变闪长斑岩	69.072	61.822	57.636	1.198 4	0.960 1	-0.225 2	1.072 6	1.1173	275.16	51.21	160.48	18.41	58.12	32.68	238.12	57.32	245	70
44	K106-2	卡拉先格勒	变形蚀变闪长斑岩	19.474	17.822	16.539	1.177 5	0.986 2	-0.085 1	1.077 6	1.092 7	299.55	43.43	2.79	29.48	113.72	32.29	293.72	57.71	255	50
45	K107-1	卡拉先格勒	蚀变变形辉斑玄武岩	55.886	54.146	51.940	1.076 0	1.010 7	0.145 4	1.042 8	1.031 8	160.13	37.94	7.28	48.78	261.10	13.72	81.10	76.28	60	85
46	K111-1	卡拉先格勒	变形蚀变闪长斑岩	935.61	804.67	714.65	1.309 2	0.968 4	-0.119 3	1.126 0	1.162 7	289.61	52.97	173.39	18.43	71.91	30.83	251.91	59.17	240	60
47	K111-2	卡拉先格勒	变形蚀变闪长斑岩	134.03	110.01	98.323	1.363 2	0.918 4	-0.274 8	1.118 9	1.219 3	294.21	78.68	185.48	3.67	94.79	10.69	274.79	79.31	270	60
48	K111-3	卡拉先格勒	蚀变花岗岩闪长斑岩	2.141 6	2.122 8	2.080 6	1.029 3	1.011 4	0.391 6	1.020 3	1.008 8	339.99	51.00	2.15	37.65	99.00	8.78	279.00	81.22	250	65
49	K111-4	卡拉先格勒	蚀变变形闪长岩	48.809	48.455	47.706	1.023 1	1.008 3	0.361 8	1.015 7	1.007 3	313.88	35.88	170.79	47.87	58.35	19.06	238.35	70.94	250	70
50	K122-1	多拉纳依金矿	片理化粉砂质板岩	5.709 6	5.653 2	4.957 2	1.151 8	1.129 2	0.859 6	1.140 4	1.010 0	199.97	38.39	10.28	51.10	106.19	4.75	286.19	85.25	285	85
51	K122-2	多拉纳依金矿	蚀变变形二长斑岩	0.822 9	0.808 3	0.790 0	1.041 6	1.005 2	0.126 8	1.023 2	1.017 9	43.25	6.15	301.56	68.83	135.46	19.63	315.46	70.37	280	70
52	K122-3	多拉纳依金矿	蚀变细粒花岗岩	1.077 7	1.069 4	1.037 7	1.038 5	1.022 5	0.588 5	1.030 5	1.007 8	215.24	0.32	305.65	51.29	124.99	38.70	304.99	51.30	270	65
53	K122-6	多拉纳依金矿	变形生物碎屑灰岩	0.204 4	0.200 3	0.174 1	1.173 5	1.127 5	0.750 0	1.150 2	1.020 2	334.86	57.76	342.66	24.95	98.08	19.07	278.08	70.93	275	75
54	K122-7	多拉纳依金矿	变形生物碎屑灰岩	0.874 8	0.867 6	0.718 0	1.218 5	1.198 4	0.916 0	1.208 4	1.008 3	1.14	10.50	206.72	78.52	95.91	4.15	275.91	85.85	275	85
55	K124-1	哈腊苏铜矿	蚀变闪长斑岩	2.265 9	2.186 9	2.147 2	1.055 3	0.983 0	-0.318 5	1.018 5	1.036 1	268.18	28.33	152.98	12.86	41.91	52.05	221.91	37.95	230	45
56	K133-2	卡拉先格勒 II 区	蚀变闪长岩	3.074 1	3.063 3	3.019 6	1.018 1	1.010 9	0.605 5	1.014 5	1.003 5	312.54	69.17	355.46	13.19	90.73	15.84	270.73	74.16	260	80
57	K133-3	卡拉先格勒 II 区	蚀变玄武质安山岩	9.887 3	9.663 1	9.395 6	1.050 2	1.007 2	0.146 1	1.028 5	1.021 1	57.19	41.96	350.93	19.23	239.58	46.22	59.58	43.78	65	42
58	K133-8	卡拉先格勒 II 区	变形晶屑凝灰岩	35.674	33.734	30.582	1.166 5	1.043 0	0.273 6	1.103 0	1.057 5	69.22	42.64	323.95	15.96	218.47	43.03	38.47	46.97	50	50
59	K134-1	卡拉先格勒 II 区	弱变形玄武岩	7.241 7	6.900 2	6.678 2	1.084 4	0.984 1	-0.192 6	1.033 2	1.049 5	53.44	76.86	298.20	5.68	207.01	11.80	27.01	78.20	33	83
60	K135-2	卡拉先格勒 II 区	强变形花岗岩闪长岩	156.76	124.54	114.32	1.371 2	0.865 6	-0.457 1	1.089 5	1.258 6	262.94	70.19	170.94	0.72	80.70	19.80	260.70	70.20	235	75
61	K140-3	卡拉先格勒 III 区	蚀变弱变形玄武岩	3.287 7	3.167 2	3.091 1	1.063 6	0.987 1	-0.210 9	1.024 6	1.038 0	21.03	63.78	130.29	9.22	224.50	24.31	44.50	65.89	60	80
62	K141-2	卡拉先格勒 III 区	强变形花岗岩闪长岩	168.12	140.71	136.16	1.234 7	0.864 8	-0.688 8	1.033 4	1.194 8	324.85	66.47	141.08	19.33	231.68	1.38	51.68	88.62	250	85
63	K141-3	卡拉先格勒 III 区	弱变形花岗岩闪长岩	0.364 6	0.343 4	0.334 8	1.089 2	0.965 9	-0.406 3	1.025 7	1.061 9	24.49	79.78	163.87	7.80	254.77	6.57	74.77	83.43	90	80
64	K141-4	卡拉先格勒 III 区	变形花岗岩闪长岩+Q ₄	0.480 7	0.469 2	0.457 7	1.050 2	1.000 5	0.010 9	1.025 0	1.024 5	356.70	66.31	177.40	23.68	87.28	0.26	267.28	89.74	75	74
65	K141-5	卡拉先格勒 III 区	变形玄武岩	338.41	317.43	299.61	1.129 5	0.993 8	-0.051 0	1.059 5	1.066 1	349.96	58.66	178.43	31.06	86.16	3.76	266.16	86.24	255	78
66	K145-4	卡拉先格勒 III 区	强变形花岗岩闪长岩	117.22	94.902	87.948	1.332 8	0.973 6	-0.470 3	1.079 1	1.235 2	323.81	8.35	37.26	62.69	237.88	25.79	57.88	64.21	65	70
67	K149-1	卡拉先格勒 III 区	蚀变变形闪长岩	3.292 5	3.090 2	3.011 3	1.093 4	0.963 1	-0.421 0	1.026 2	1.065 5	30.16	76.51	173.30	10.87	264.83	7.90	84.83	82.10	60	85
68	K149-3	卡拉先格勒 III 区	矿化玄武岩	785.26	620.35	599.14	1.310 6	0.818 0	-0.742 8	1.035 4	1.265 8	294.04	47.59	197.75	5.72	102.61	41.84	282.61	48.16	245	60
69	K150-1	卡拉先格勒 III 区	蚀变变形玄武岩	2.904 5	2.838 4	2.807 1	1.034 7	0.988 1	-0.350 6	1.011 1	1.023 3	19.74	33.10	146.43	42.52	267.93	29.67	87.93	60.33	50	40
70	K151-1	卡拉先格勒 III 区	蚀变变形辉斑玄武岩	10.239	9.989 8	9.719 4	1.053 4	1.002 8	0.054 2	1.027 8	1.024 9	295.73	54.24	176.24	18.69	75.56	28.82	255.56	61.18	255	58
71	K151-3	卡拉先格勒 III 区	强变形正长斑岩	242.02	194.98	181.12	1.336 2	0.867 3	-0.491 3	1.076 5	1.241 3	10.24	75.86	161.52	12.45	252.98	6.58	72.98	83.42	60	85
72	K172-2	玛因郭博构造带	强变形正长斑岩	35.940	31.498	23.662	1.518 9	1.166 6	0.368 7	1.331 1	1.141 0	1.06	48.85	118.29	21.78	223.28	32.91	43.28	57.09	48	63
73	K172-3	玛因郭博构造带	变形正长斑岩	3.489 5	3.349 7	2.976 8	1.172 2	1.080 2	0.485 5	1.125 3	1.041 7	14.27	43.95	282.99	1.32	191.62	46.02	11.62	43.98	28	43
74	K172-8	玛因郭博构造带	强变形正长斑岩	4.196 4	4.049 3	3.681 4	1.139 9	1.061 4	0.455 0	1.099 9	1.036 3	5.97	39.45	109.85	16.25	217.44	46.03	37.44	43.97	44	51
75	K173-1	玛因郭博构造带	强变形正长斑岩	174.97	157.10	116.76	1.498 5	1.208 2	0.467 5	1.345 5	1.113 7	140.62	23.78	20.39	36.22	252.36	40.05	72.36	49.95	72	50

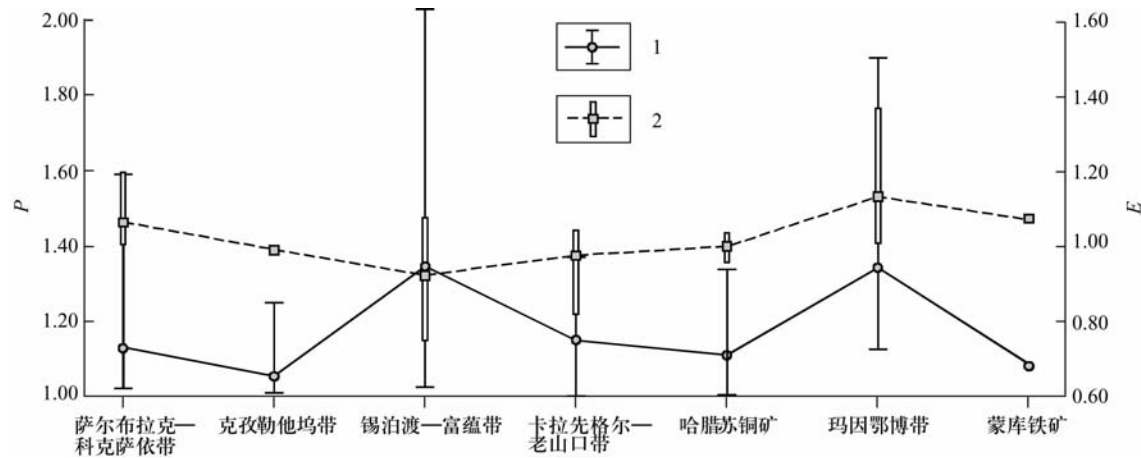


图3 不同构造带磁各向异性度 P 值和磁椭球扁率 E 值对比图

Fig.3 Comparison of magnetic susceptibility anisotropy (P) and ellipticity of magnetic susceptibility ellipsoid (E) of deformed rocks from different structural belts in eastern part of southern Altay margin area, Xinjiang
1—磁各向异性度 P 值范围、平均值和变化曲线;2—磁椭球扁率 E 值范围、平均值和变化曲线

表2 不同构造带变形岩石磁各向异性 P 值和磁椭球扁率 E 值对比表

Table 2 Data comparison of magnetic susceptibility anisotropy (P) and ellipticity of magnetic susceptibility ellipsoid (E) of rocks from different structural deformation belt

序号	构造带名称	样品数	磁各向异性度 P 值		磁椭球扁率 E 值				应变富林参数
			变化范围	平均	$E>1$	$E<1$	变化范围	平均	
1	锡泊渡—富蕴构造带	13	1.039 8~2.069 9	1.346 2	7	6	0.938 0~1.075 0	1.009 3	0.82
2	玛因鄂博构造带	9	1.129 5~1.900 5	1.361 3	9	0	1.007 5~1.368 9	1.131 6	0.35
3	萨尔布拉克—科克萨依构造带	10	1.016 3~1.591 4	1.132 7	10	0	1.001 7~1.198 4	1.060 4	0.48
4	哈腊苏铜矿	9	1.020 7~1.339 4	1.133 3	7	2	0.955 1~1.037 7	0.999 6	1.61
5	卡拉先格尔—老山口构造带	29	1.010 9~1.371 2	1.153 4	13	16	0.818 0~1.043 0	0.975 3	1.23
6	达拉维孜—阿热勒托别	1	1.366 8	1.366 8		1	0.943 0	0.943 0	3.41
7	克孜勒他乌	4	1.016 9~1.253 4	1.105 5	4	0	0.985 1~0.997 1	0.991 2	

造带变形强,而且说明在锡泊渡—富蕴西—比尔萨尔布拉克一带的带状侵入岩是先侵入后发生变形的,是构造变形导致呈带状形态和产状,不是在变形之后沿构造带侵入的。卡拉先格尔—老山口构造变形带和哈腊苏铜矿区变形岩石 P 值相对偏小(有限应变测量结果应变椭球轴比 R_{∞} 显示变形强烈),可能与该带存在比较明显的铜矿化有关,而且说明在主要构造变形之后发生过矿化蚀变作用;在克孜勒他乌地区构造带虽然宏观变形强烈,但是磁各向异性 P 值也比较小,说明受到后期热事件影响比较强烈,与该区较晚期侵入岩比较发育的事实吻合,或者可以推测在三角岩体东侧的深部还可能存在隐伏岩体。

(2)在以 $F-L$ 为坐标的类付林图解(图4)中可见,总共75个样品投影中有30个样品落在 $E<1$ 的范围内,有45个样品落在 $E>1$ 的范围;从磁化率数量椭球形状因素 T 值看,有30个样品 $-1<T<0$,有45个样品 $0<T<1$,这反映本区岩石变形

以压扁变形和剪切拉伸变形整体比较均等,岩石应变椭球特点是以三轴椭球为主。

从区域上分析,不同构造变形带的磁面理、磁线理和磁椭球扁率具有各自的特点(表2)。锡泊渡—富蕴构造带13个样品中有6个 E 值小于1,平均 E 值1.009 3,且非常接近1,反映近于纯剪切变形,这与该构造带野外宏观上矿物面理、拉伸线理、 α -型褶皱、鞘褶皱非常发育的事实吻合;玛因鄂博构造带9个样品 E 值全部大于1,平均 E 值1.131 6,且偏离1也比较多,反映以压扁变形为主;萨尔布拉克—科克萨依构造带10个样品 E 值全部大于1,平均 E 值1.060 4,反映以压扁变形为主,但是变形强度低于玛因鄂博构造带;卡拉先格尔—老山口构造变形带29个样品中有16个 E 值小于1,平均 E 值0.975 3,偏离1不太多,反映以略具拉伸的剪切变形为主;哈腊苏铜矿区9个样品中2个 E 值小于1,平均 E 值0.999 6,非常接近1,反映典型剪切变形或纯剪切变形;克孜勒他乌地区构造变形带4个样

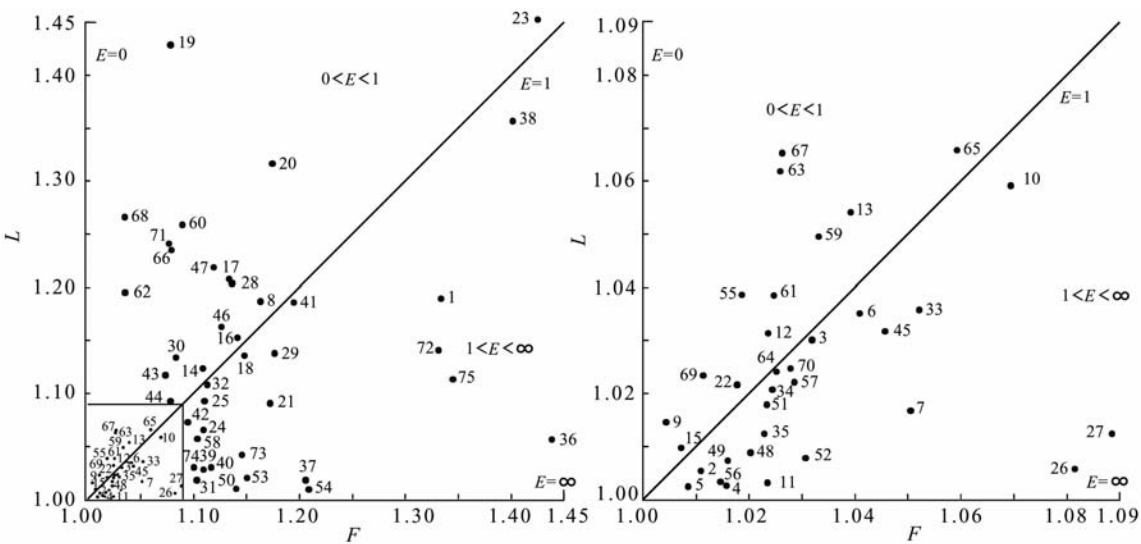


图4 磁面理(F)-磁线理(L)类付林图解(样品及序号同表1)
Fig. 4 Flinn diagram of magnetic foliation (F) to lineation (L)

品 E 值全部小于 1,但平均 E 值 0.991 2,也非常接近 1,反映典型剪切变形。同时,各构造带 E 值大小及其反映的变形性质与有限应变测量结果的富林参数也非常吻合(表 2)。

(3)从 F 、 L 和 E 值的大小来看, F 和 L 值普遍比较大,而 E 值变化较大。其中 23 号 K31-8 样品的 $F=1.424\ 5$ 、 $L=1.453\ 0$ 、 $E=0.980\ 4$,代表变形最强,且为近于纯剪切变形;19 号 K31-4 样品的 $F=1.078\ 4$ 、 $L=1.429\ 3$ 、 $E=0.754\ 5$,代表拉伸变形最明显;而 75 号 K173-1 样品的 $F=1.345\ 5$ 、 $L=1.111\ 37$ 、 $E=1.208\ 2$,代表压扁变形最强。从不同构造变形带看,锡伯渡—富蕴构造带、卡拉先格尔—老山口构造变形带和哈腊苏铜矿区都以剪切变形为主,玛因鄂博构造带压扁最明显,萨尔布拉克—科克萨依构造带也以压扁为主,这与这些构造带野外宏观上面理和矿物拉伸线理各自不同的相对发育程度相吻合。

(4)最小磁化率轴代表最大应变压缩轴,也就是最大压应力方向。将各样品的最小磁化率轴产状投影成图(图 5),可以发现不同样品的最小磁化率轴投影点各不相同,但总体上有明显的优势方位,即糜棱岩最小磁化率轴走向以 NE 向和 EW 向为主,少数为其他方向。从不同构造带分析,锡伯渡—富蕴构造带变形岩石的最小磁化率走向为近 SN 向,而卡拉先格尔—老山口构造带变形岩石的最小磁化率走向为近 NE 向和近 EW 向,哈腊苏铜矿主要为 NEE 向,与卡拉先格尔一致,萨尔布拉克带东段为

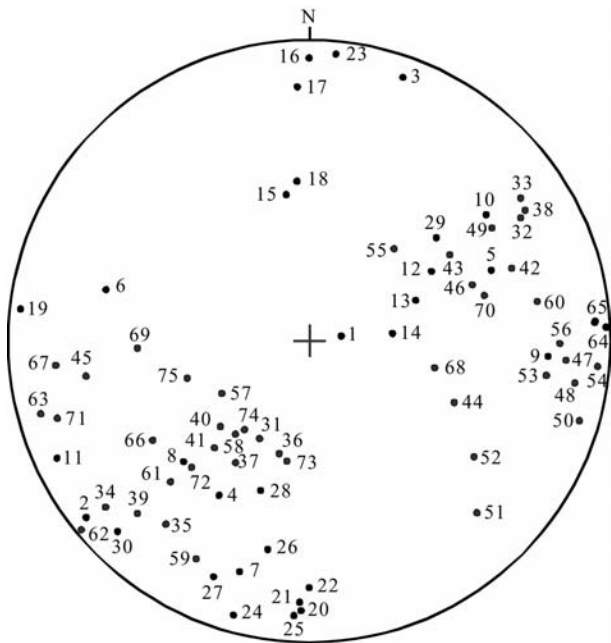


图5 最小磁化率轴产状投影图
(下半球投影,序号同表1)
Fig. 5 Projection diagram of minimum magnetic susceptibility

NE 向,西段多拉纳萨依以近 EW 向为主,玛因鄂博构造带为非常一致的 NE 向和 NEE 向。最小磁化率方向的差异反映了它们是形成于两个时代和地质环境的变形带,这预示着锡伯渡—富蕴构造带经历不同,可能是一个古陆壳的残片,变形的最大主压应力(σ_1)为 SN 向,并发生右行剪切;而卡拉先格尔—老山口、玛因鄂博、萨尔布拉克等构造带形成较晚,为海西期,变形的最大主压应力(σ_1)为 NE-SW 向,

表3 各构造带变形岩石磁各向异性与主应变对比

Table 3 Comparison of magnetic susceptibility anisotropy and principal strain of deformed rocks from eastern part of southern Altay area, Xinjiang

代号	磁组构磁各向异性度 P			应变测量结果 R_{re}			平均 a 值
	样品数	变化范围	平均	样品数	变化范围	平均	
1	13	1.102 0~1.546 1	1.385 1	3	4.31~10.03	6.82	0.169 6
2	9	1.129 5~1.900 5	1.361 2	3	5.70~7.00	6.15	0.169 7
3	5	1.132 7~1.339 4	1.253 9	5	6.11~10.39	6.68	0.119 1
4	13	1.129 5~1.374 5	1.272 2	7	4.04~6.93	5.77	0.137 4

注:1—锡伯渡—富蕴构造带;2—玛因鄂博带;3—哈腊苏铜矿;4—卡拉先格尔—老山口构造带。

局部到 NEE 向甚至近 EW 向,结合这些构造带的延伸方向,也可以确认当时构造变形的剪切分量为左行剪切。

(5)宏观构造面理与磁面理的夹角关系可以用来判断运动方向,相对于宏观构造面理,磁面理位于锐角顺时针方向,说明构造变形过程为左行剪切,反之为右行剪切。从不同构造带看,锡伯渡—富蕴构造带非常一致地表现为右行剪切,玛因鄂博构造带则非常一致地为左行剪切,多拉纳萨依主要为右行剪切,卡拉先格尔—老山口(包括哈腊苏铜矿)构造带则比较复杂,38 个样品 17 个显示右行,21 个显示左行剪切,这可能与该带的演化历史有关,早期(晚古生代)为左行剪切,而在晚中生代以来可可托海—二台断裂活动的右行叠加。

根据磁各向异性度 P 值,结合变形岩石有限应变结果可推算 $(K_j/K_i)=(L_j/L_i)^a$ 关系式中的 a 值(表 3),其结果是以长英质岩石为主变形的锡伯渡—富蕴构造带和玛因鄂博带的 a 值非常接近,为 0.179 6 和 0.169 7;而以基性火山岩为主变形的哈腊苏铜矿和卡拉先格尔—老山口构造带平均 a 值偏小,分别为 0.119 1 和 0.137 4,区内平均 a 值为 0.143 3。与 Rathore(1980)描述的英格兰湖区板岩的 a 值 0.142 非常接近。

4 磁组构特征反映的区域构造和成矿意义

(1)阿尔泰构造带南缘东段变形岩石磁各向异性 P 值大,反映该区岩石韧性-超韧性构造变形强烈,与它作为晚古生代板块碰撞带的大地构造背景相吻合。

(2)最小磁化率轴方向代表的主压应力方向显示萨尔布拉克—科克萨依脆性劈理化带、达拉维孜—阿热勒托别剪切流变构造带(包括哈腊苏铜矿

和卡拉先格尔—老山口带)、库尔提—玛因鄂博韧性剪压变形带均为比较一致的 NE 至 NEE 向(局部近 EW 向);而锡伯渡—富蕴深层次超韧性变晶糜棱岩带的主压应力方向为近 SN 向,两者有明显的差异。

(3)从磁面理与宏观面理的锐夹角指示的变形性质相对运动(剪切)方向看,也表现出萨尔布拉克—科克萨依脆性劈理化带、达拉维孜—阿热勒托别剪切流变构造带(包括哈腊苏铜矿和卡拉先格尔—老山口带)、库尔提—玛因鄂博韧性剪压变形带虽然压扁程度各有差异,但均是以比较一致左行剪切为特点;而锡伯渡—富蕴深层次超韧性变晶糜棱岩带主要表现为右行剪切。因此,从变形的主压应力方向和相对运动方向反映锡伯渡—富蕴深层次超韧性变晶糜棱岩带与其他三个构造变形带有着明显不同的构造演化历史,它很可能是在古生代期间被强烈改造的具有前震旦纪结晶基底的微大陆的残留(或断片)。

(4)成矿作用(矿化热事件)使已经形成的磁各向异性发生明显的均一化,磁各向异性度降低或消失,这在达拉维孜—阿热勒托别剪切流变构造带的卡拉先格尔—老山口段和哈腊苏铜矿变形带中最明显。已经矿化蚀变的变形岩石虽然保留变形特点、有限应变测量结果应变椭球轴比与未发生矿化蚀变的变形岩石相似,但是磁各向异性度 P 值明显降低,代表磁各向异性发生明显的均一化,这也说明哈腊苏铜矿区和卡拉先格尔—老山口铜矿化带的形成不是简单的斑岩期一次成矿作用,而是在发生比较明显的变形之后还存在一期叠加成矿作用,有关成矿作用年代学资料也已有相应的佐证^[27]。这在今后的找矿勘查中应该引起足够的重视。

总之,由磁组构反映的本区变形构造及变形历史的一些特征,与该区构造演化特征相吻合,其中有相当部分,则是常规地质方法难以获得的。所以在本区利用磁组构方法进行构造变形分析和研究是可

取的。

References:

- [1] Xiao Xuchang, Tang Yaoqing, Feng Yimin, et al. The tectonics in the northern Xinjiang and its adjacent area[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1992(in Chinese).
- [2] Li Jinyi, Xiao Xuchang, Chen Wen. Late Ordovician continental basement of the eastern Junggar basin in Xinjiang, NW China: evidence from the Laojunmiao metamorphic complex on the northeast basin margin[J]. Regional Geology of China, 2000,19(3): 297-302(in Chinese).
- [3] Yang Shude. Paleoplate tectonics in northern Xinjiang[J]. Xinjiang Geology, 1994,12(1): 1-8(in Chinese).
- [4] Cheng Shoude, Wang Yuanlong. Basic characteristics of geotectonic evolution of Xinjiang[J]. Xinjiang Geology, 1998,16(2): 97-107(in Chinese).
- [5] Han Baofu, He Guoqi, Wang Shiguang, et al. Postcollisioned mantle derived magmatism and vertical growth of the continental crust in north Xinjiang[J]. Geological Review, 1998,44(4): 396-406(in Chinese).
- [6] Shu Liangshu, Lu Huaifu, Yin Donghao, et al. Late Paleozoic continental accretionary tectonics in northern Xinjiang[J]. Xinjiang Geology, 2001,19(1): 59-63(in Chinese).
- [7] Zhang Chaowen, Liu Yuanchao, Wei Xiangui. Ductile shear zones and nappe-gliding structure in Altai, Xinjiang[J]. Journal of Chengdu College of Geology, 1992,23(1): 16-28(in Chinese).
- [8] Yang Xinyue, Li Zhichun, Xie Guoyuan. Deformation and metamorphism of Salebasi nappe in southern piedmont of Altay orogenic belt, Xinjiang, China[J]. Journal of China University of Geosciences, 1994,19(4): 461-470(in Chinese).
- [9] Li Zhichun, Zhao Zhizhong. Creation of the Altai orogenic belt and the Altai Mts tectono-metallogenic province[J]. Chinese Journal of Geology, 2002,37(4): 483-490(in Chinese).
- [10] Qu Guosheng, Zhang Jinjiang. The Ertix tectonic belt[M]// Geoscience in Xinjiang (3). Beijing: Geological Publishing House, 1991:115-131(in Chinese).
- [11] Qu Guosheng, He Guoqi. The orogeny in the Altaides[J]. Acta Geologica Sinica, 1992,66(3): 193-205(in Chinese).
- [12] Rui Xingjian, Zhu Shaohua, Liu Kangjuan. The main characteristics and regional metallogenic model of Altay primary gold deposits in Xinjiang[J]. Geological Review, 1993,39(2): 138-148(in Chinese).
- [13] Liu Wuhui, Liao Qilin, Dai Peigen, et al. Preliminary analyses on metallogenetic characteristics of gold deposits related to the ductile shear zone in southern margin area of Altay[J]. Contribution to the Geology and Mineral Resources Research, 1999,14(3):42-49(in Chinese).
- [14] Chen Huayong, Chen Yanjing, Liu Yulin. Metallogenesis of the Ertix gold belt, Xinjiang and its relationship to central Asia-type orogenesis[J]. Science in China; Series D, 2000, 30 (Suppl):38-44(in Chinese).
- [15] Li Jinyi, Xu Xin. Major problems on geologic structures and metallogenesis of northern Xinjiang, northwest China[J]. Xinjiang Geology, 2004,22(2): 119-124(in Chinese).
- [16] Graham J W. Magnetic susceptibility anisotropy, an unexploited petro fabric element[J]. Geol Soc Am Bull, 1954, 65: 1257-1258.
- [17] Kligfield R, Lowrie W, Dalziel I W D. Magnetic susceptibility anisotropy as a strain indication in the Subburg Basin Ontario[J]. Tectonophysics, 1977,40:287-305.
- [18] Kligfield R, Lowrie W, Priffner O A. Magnetic properties of deformed oolitic limestones from the Swiss Alps: the correlation of magnetic anisotropy and strain[J]. Eclogae Geol, 1982, 75: 127-157.
- [19] Rathore J S. The magnetic anisotropy of some slates from the Borrowdale volcanic group in the English Lake district and their correlation with strains[J]. Tectonophysics, 1980, 67: 207-220.
- [20] Rathore J S. The magnetic fabrics of some slates from the Borrowdale volcanic group in the English Lake rocks[J]. Tectonophysics, 1981,77:151-168.
- [21] Hrouda F. Magnetic anisotropy of rock and its application in geology and geophysics[J]. Geophys Surveys, 1982, 5: 37-82.
- [22] Wu Hanning. Magnetic fabric and its application to strain analysis[J]. Acta Petrologica Sinica, 1988, 4(1): 94-98(in Chinese).
- [23] Yan Guilin. Application of magnetic susceptibility anisotropy to geosciences[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1996(in Chinese).
- [24] Zhang Da, Li Dongxu. Study of characteristics of structural deformation with the emplacement of Fenghuangshan pluton, Tongling, Anhui[J]. Acta Geoscientia Sinica, 1999,20(3): 239-245(in Chinese).
- [25] Chen Bailin, Li Zhongjian, Xie Yanxia. Analyses of the magnetic fabric, deformation and kinematics in the Qifengcha-Liulimiao area, Huairou County, Beijing[J]. Acta Geoscientia Sinica, 1997, 18(2): 134-141(in Chinese).
- [26] Chen Bailin. Study on the chronogenesis relation of mineralization and deformation by magnetic fabric analysis[J]. Geological Journal of China University, 1999, 5(3): 269-274(in Chinese).
- [27] Yan Shenghao, Teng Rongli, Zhang Zhaochong, et al. New understanding on origin of Kalaxian'ge'er Copper deposit on southern margin of Altay mountain, Xinjiang[J]. Mineral Deposits, 2006,25(3):292-301(in Chinese).

参考文献:

- [1] 肖序常, 汤耀庆, 冯益民, 等. 新疆北部及其邻区大地构造

- [M]. 北京:地质出版社,1992.
- [2] 李锦轶,肖序常,陈文. 准噶尔盆地东部的前晚奥陶世陆壳基底——来自盆地东北缘老君庙变质岩的证据[J]. 中国区域地质,2000,19(3):297-302.
- [3] 杨树德. 新疆北部的古板块构造[J]. 新疆地质,1994,12(1):1-8.
- [4] 成守德,王元龙. 新疆大地构造演化基本特征[J]. 新疆地质,1998,16(2):97-107.
- [5] 韩宝福,何国琦,王式洸,等. 新疆北部后碰撞岩浆作用与陆壳纵向增生[J]. 地质论评,1998,44(4):396-406.
- [6] 舒良树,卢华复,印栋浩,等. 新疆北部古生代大陆增生构造[J]. 新疆地质,2001,19(1):59-63.
- [7] 张朝文,刘援朝,魏显贵. 阿尔泰地区韧性剪切带和推覆-滑覆构造[J]. 成都地质学院学报,1992,23(1):16-28.
- [8] 杨新岳,李志纯,谢国源. 新疆阿尔泰造山带南缘萨勒巴斯推覆体的变形和变质作用[J]. 地球科学,1994,19(4):461-470.
- [9] 李志纯,赵志忠. 阿尔泰造山带和阿尔泰成矿域的形成[J]. 地质科学,2002,37(4):483-490.
- [10] 曲国胜,张进江. 额尔齐斯构造带[M]//新疆地质科学(3). 北京:地质出版社,1991:115-131.
- [11] 曲国胜,何国琦. 阿尔泰造山带的构造运动[J]. 地质学报,1992,66(3):193-205.
- [12] 芮行健,朱韶华,刘抗娟. 阿尔泰南缘原生金矿基本特征及区域成矿模式[J]. 地质论评,1993,39(2):138-148.
- [13] 刘悟辉,廖启林,戴培根,等. 阿尔泰南缘与韧性剪切带有关金矿床成矿特征浅析[J]. 地质找矿论丛,1999,14(3):42-49.
- [14] 陈华勇,陈衍景,刘玉林. 新疆额尔齐斯金矿带的成矿作用及其与中亚型造山作用的关系[J]. 中国科学:D辑,2000,30(增刊):38-44.
- [15] 李锦轶,徐新. 新疆北部地质构造和成矿作用的主要问题[J]. 新疆地质,2004,22(2):119-124.
- [22] 吴汉宁. 岩石的磁性组构及其在岩石变形分析中的应用[J]. 岩石学报,1988,4(1):94-98.
- [23] 阎桂林. 岩石磁化率各向异性在地学中的应用[M]. 武汉:中国地质大学出版社,1996.
- [24] 张达,李东旭. 铜陵凤凰山岩体侵入构造变形特征[J]. 地球学报,1999,20(3):239-245.
- [25] 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(2):134-141.
- [26] 陈柏林. 运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):269-274.
- [27] 闫升好,滕荣丽,张招崇,等. 新疆阿尔泰南缘卡拉先格爾斑岩铜矿带成因再认识[J]. 矿床地质,2006,25(3):292-301.