

DOI:10.16788/j.hddz.32-1865/P.2018.04.003

引用格式:王朝,储东如,李阳,等. 皖南地区汤口断裂带磁组构特征及地质意义[J]. 华东地质,2018,39(4):261-270.

皖南地区汤口断裂带磁组构特征及地质意义

王朝¹,储东如¹,李阳²,张赞赞¹,吴雪峰¹

(1. 安徽省地质调查院,合肥 230000; 2. 西北大学,西安 710000)

摘要: 断裂带的区域构造应力特征是研究其活动性的重要依据。在应变指示较少的地区,磁组构是研究区域构造应力的有效手段。在安徽 1:5万后山幅区域地质调查的基础上,对汤口断裂带进行系统的岩石磁组构特征研究。结果表明:该断裂带沉积地层的磁性矿物以磁铁矿为主,岩石磁化率椭球体以“扁球形”为主,显示其在原生沉积组构的基础上叠加了弱变形组构。磁化率椭球体的最大轴 $K_{\max}$ 沿 NEE—SWW 向、最小轴 $K_{\min}$ 沿 NNW—SEE 向,反映汤口断裂带晚期受 NNW—SEE 向的挤压应力,兼较弱的 NEE—SWW 向拉张应力作用,说明喜山期汤口断裂带为近 EW 向正断拉张,兼具左行平移,时限为中新世—早更新世。

关键词: 磁组构特征;构造应力;磁性矿物;汤口断裂;皖南

中图分类号: P631.2; P545

文献标识码: A

文章编号: 2096-1871(2018)04-261-10

岩石磁组构作为近年来应用于区域构造应力研究的新兴手段,其在区域构造应力及动力学演化等研究中具有重要作用,并获得国内外学者的认可和应用^[1-9]。磁组构在沉积物中对构造应力反应敏感,即使非常微小的应力作用,矿物也以不同的方式作出相应调整。磁化率椭球可用来代替应变椭球,用其形态和空间定向分析构造变形的性质和应力作用的方式及方向^[10-12]。

汤口断裂带作为皖南地区重要的近 SN 向控矿断裂带,前人在该断裂带附近陆续发现了乌溪、大山头、三溪等金银多金属矿点。由于矿点多赋存于主断裂带两侧的次级断裂带中,故研究重点多集中于次级断裂的演化期次和控矿构造等方面,并已取得部分成果^[13-17]。然而,对汤口断裂带的系统研究相对较少,尤其是活动期次、应力方位均未见报道,究其原因主要有:(1) 汤口断裂带非重要的导矿、容矿和控矿构造带;(2) 皖南地区山高林密、露头较差,构造要素调查难度较大。通过对汤口断裂带系统的野外地质调查,发现该断裂带地表出露极差,仅在泾县晏公堂向斜出露数条近 SN 向展布的小规模断裂带。由于露

头较差,断层带活动性质不明,前人仅指出该断裂带切割了早白垩世榔桥岩体,通过野外地质调查难以判断古近纪以来,尤其是新近纪该断裂带的活动性质和应力方位。本文以 1:5 000 构造剖面为基础,沿剖面采集数个磁组构样品,利用岩石磁组构实验分析方法,研究该断裂带晚期构造活动特征,为进一步在该区进行综合研究提供基础依据。

1 地质背景

汤口断裂带位于扬子陆块东部,下扬子北东陆缘宁国—太平拗褶带中,向北延伸入宣(城)—南(陵)盆地。该断裂带由数条断裂组成,走向自南向北由 45° 渐变为 10°,地表断续出露长约 145 km,在研究区呈 NNE 向展布(图 1),断面倾向南东或北西。该断裂带由数条分支断裂组成断面相向的地堑式构造,切割的最新地层为早三叠世南陵湖组和早白垩世榔桥侵入体,后期充填燕山晚期脉岩。通过 1:5 万地质填图及相关构造剖面测制,发现沿断裂带两侧地层缺失较多,导致早志留世唐家坞组、晚泥盆世观山组与中二叠世栖霞组、孤峰组呈断层

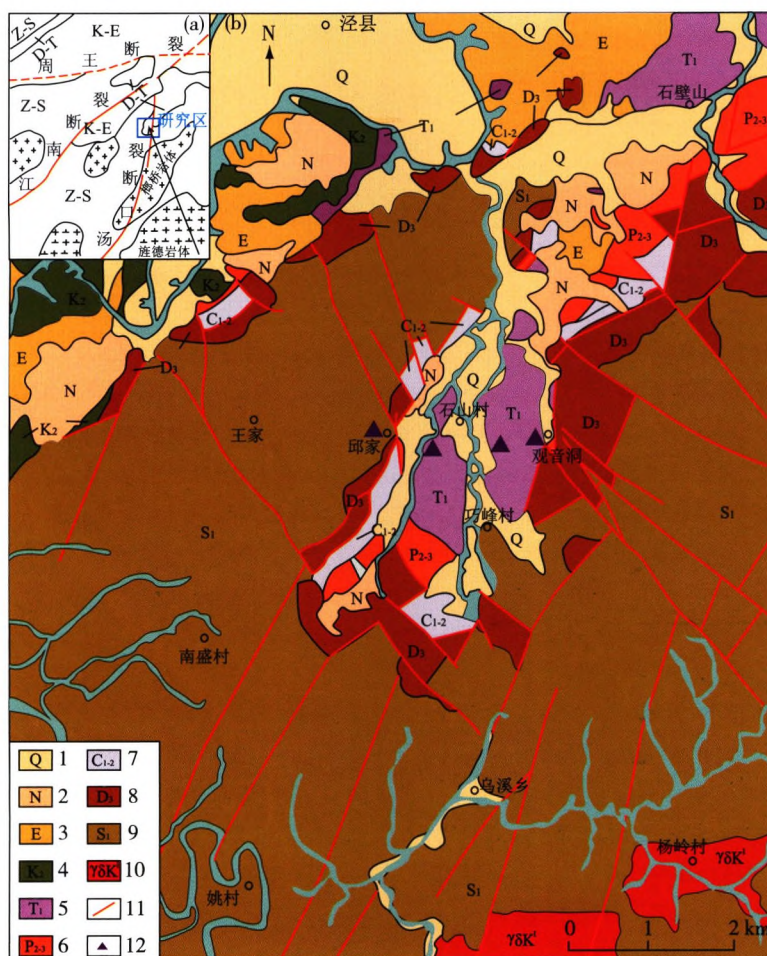
* 收稿日期:2017-10-11 修订日期:2018-02-02 责任编辑:谭桂丽

基金项目:中国地质调查局“安徽 1:5 万南陵县等 5 幅区域地质矿产调查(编号:12120113069200)”项目资助。

第一作者简介:王朝,1988 年生,男,工程师,主要从事区域构造地质学研究。

接触。断层两侧岩石普遍破碎,呈碎裂岩、碎粉岩产出,旁侧次级断裂带内有张性构造角砾岩,劈理

发育,且沿断裂带充填花岗斑岩、花岗细晶岩及石英脉等,反映该断裂带具多期活动的特点。



1. 第四系;2. 新近系;3. 古近系;4. 上白垩统;5. 下三叠统;6. 中—上二叠统;7. 下—中石炭统;8. 上泥盆统;9. 下志留统;10. 早白垩世花岗闪长岩;11. 断层;12. 采样点。

图1 汤口断裂带大地构造位置图(a)及地质简图(b)

Fig. 1 Sketch map showing geotectonic position of the Tangkou fault zone (a) and regional geology (b)

2 野外地质特征

野外重点对泾县晏公堂一带的邱家—茶油冲构造剖面(图2)进行详细观察。该剖面为区内主干断裂的实测构造剖面,全长5.8 km,横跨晏公堂向斜,切割志留纪—三叠纪地层,构造样式形似“地堑”,剖面自西向东发现多处典型露头。

(1) 出露于主干断裂西侧的晚泥盆世观山组石英砂岩与中二叠世孤峰组硅质岩呈断层接触,地貌呈NNE向展布的冲沟,带内发育张性构造角砾岩,以石英砂岩、硅质岩为主(图3(a)),后期被硅质胶结。两侧基岩呈碎裂岩产出,由主干断裂带向外

侧,基岩碎裂程度逐渐减弱,具有脆性变形的特征。

(2) 向斜核部早三叠世南陵湖组发育一系列断面倾向为NNW向的次级正断层带(图3(b)),产状为 $(265^{\circ}\sim 277^{\circ})\angle(72^{\circ}\sim 80^{\circ})$;内部岩石破碎,发育构造透镜体,指示拉张环境,旁侧基岩伴生与断层相关的牵引褶皱。

(3) 汤口断裂带在该区主干断裂的断层破碎带宽 $>100\text{ m}$,断裂带两侧晚泥盆世观山组与中二叠世栖霞组呈断层接触,带内岩石构造破碎,发育数条断面一致的次级断层及同期角砾岩,产状 $(240^{\circ}\sim 260^{\circ})\angle(65^{\circ}\sim 75^{\circ})$,断面见多期活动擦痕(图3(c)),角砾呈棱角一次圆状,硅质、铁质胶结,

岩性为石英砂岩、灰色黏土岩、粉砂质泥岩和灰岩等。此外,破碎带西盘中厚—厚层微晶灰岩内部发育与主干断裂走向一致的密集劈理,倾向 NWW,倾角较大。上述断层均表现脆性变形的特征。

综上所述,该剖面构造要素指示断层具多期次活动性质,表明汤口断裂带具 3 期构造活动,分别为早期正断拉伸、中期右行压性剪切和晚期左行正平移(图 3(d)),以晚期特征表现最为明显。

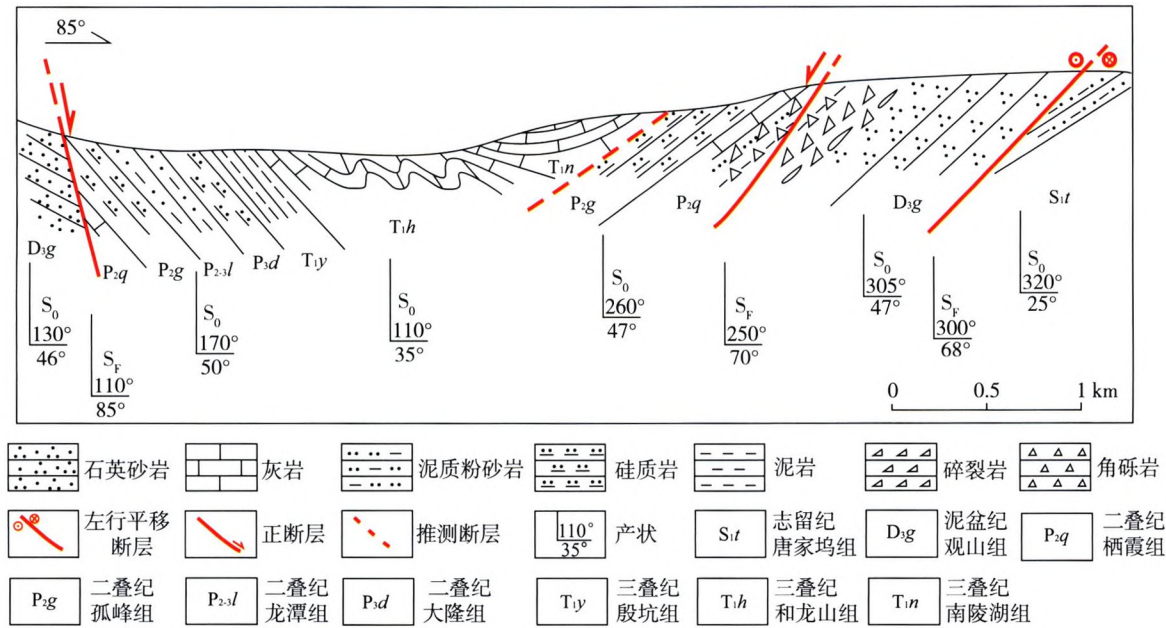


图 2 汤口断裂带 1:5 000邱家—茶油冲构造剖面

Fig. 2 1:5 000 structural section of Qiuji-Chayouchong in Tangkou fault zone

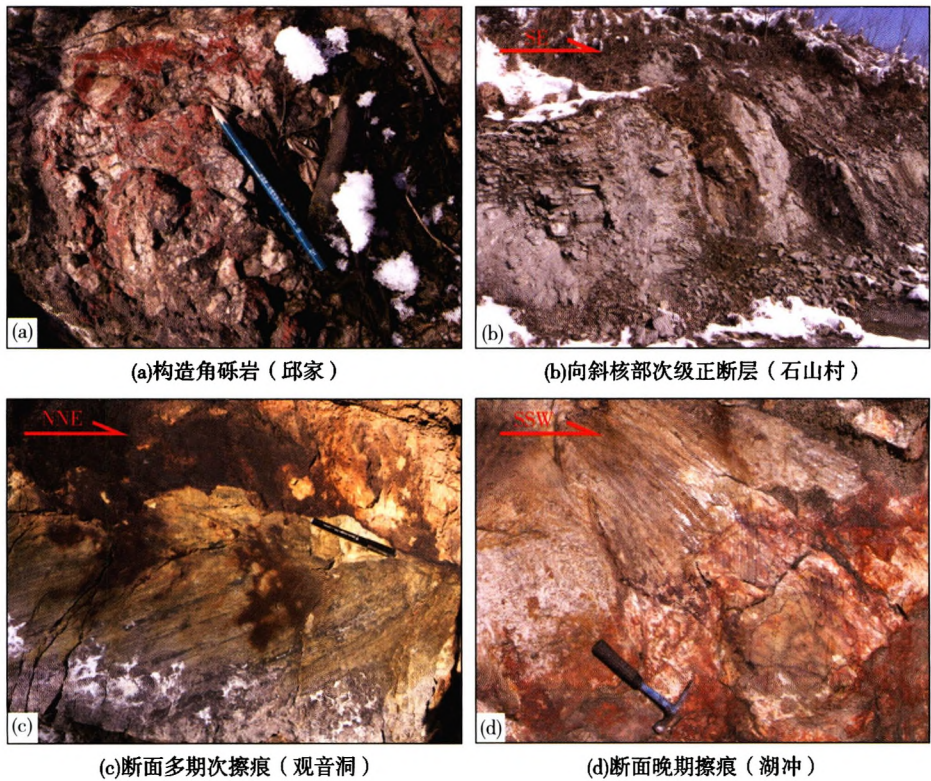


图 3 汤口断裂带野外露头地质特征

Fig. 3 Geological characteristics of outcrops in the Tangkou fault zone

3 样品采集与实验测试

在汤口断裂带 1:5 000 邱家—茶油冲构造剖面及 1:50 000 地质填图的基础上,2015—2016 年,沿汤口断裂带邱家—茶油冲构造剖面采集磁组构样品,共采集样品 34 块。

样品主要采自志留纪砂岩及二叠纪—三叠纪灰岩。因定向标样(8 cm³)在野外较难采取,故以野外采取 4 cm×5 cm×5 cm 的定向块样和实验室切割定向标样相结合,野外每个采样点分别采集 6~10 块古地磁样品,所有样品均采用磁性罗盘野外定向。室内定向标样在西北大学大陆动力学国家重点实验室完成,将每个采样点的样品加工成长、宽、高各 2 cm 的标准立方体样品(表 1)。

表 1 汤口断裂带岩石样品取样
Table 1 Rock samples of the Tangkou fault zone

点号	采样地点	岩性	产状	数量/块
D0412	后山幅—邱家	岩屑石英砂岩	85°∠30°	10
D0416	后山幅—石山村	微晶灰岩	330°∠22°	7
D0419	后山幅—石山埠	泥晶灰岩	320°∠82°	9
D0420	后山幅—观音洞	泥晶灰岩	140°∠32°	8

岩石磁学测试在中国科学院地球环境研究所完成,磁组构测试在西北大学大陆动力学国家重点实验室完成。为确定样品中主要载磁矿物的成分及磁畴形态,首先从剖面选取代表性样品进行岩石磁学测试。其中,热磁分析使用 Kappabridge MFK1-FA 系统(精度为 1×10^{-8} SI,测试频率为 967 Hz,AGICO,捷克)完成,样品在氩气环境下由室温加热到 700 °C 后降至室温;磁滞回线在室温下使用振动样品磁强计(MicroMag VSM 3900)完成,外加场最高约为 1.5 T,经顺磁校正后得到饱和磁感应强度(Ms)、剩磁感应强度(Mrs)和矫顽力(Hc)参数等。等温剩磁(IRM)获得曲线测试中外加场最高为 2.0 T,然后分步进行饱和等温剩磁(SIRM)反向场退磁曲线测试,并得到剩磁矫顽力(Hcr)参数。磁组构测试利用捷克 AGICO 公司生产的 Kappabridge 磁化率仪(型号:KLY-4S,测试场强为 300 A/m,工作频率为 875 Hz,检出限 2×10^{-8} SI,测试精度为 0.1%)进行测量。

4 岩石磁学测试结果及分析

4.1 磁化率与温度曲线

将样品在氩气环境下从室温加热到 700 °C,获得磁化率随温度变化的曲线,可以判断样品中的主要磁性矿物。典型样品热磁曲线如图 4 所示。

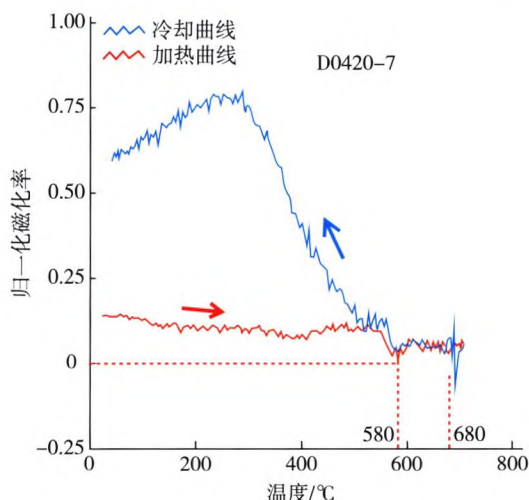


图 4 典型样品热磁曲线图

Fig. 4 Thermomagnetic curves of representative sample

所有样品在加热—冷却过程中表现出明显的不可逆性,热磁曲线显示样品加热至 580 °C 时磁化率几乎降为 0,这是由于加热温度接近磁铁矿居里点而使样品磁性消失,表明磁铁矿是样品最主要的载磁矿物。之后,热磁曲线继续缓慢下降,到 680 °C 左右曲线达到最低点,但变化幅度较小,表明样品中仅有极少量赤铁矿存在。样品冷却曲线位于加热曲线上方,指示经加热—冷却后样品中有大量强磁性矿物生成。此外,冷却温度曲线斜率从大约 580 °C 开始急剧增加,在 200~380 °C 时出现宽缓的磁化率峰值,可能是热处理过程中新生成磁铁矿颗粒的 Hopkinson 效应所致^[18-20]。当冷却至室温后,2 个样品均失去了大部分的磁化强度。

4.2 等温剩磁和磁滞参数

等温剩磁是岩石磁学鉴别不同磁性矿物的有效方法之一。在最大强度 2.0 T 的连续可变外磁场下,等温剩磁获得的曲线具有一定的规律性,表明汤口断裂带剖面样品的等温剩磁曲线在 0.3 T 以下随外场增加,等温剩磁增加较快;在 0.3 T 时等温剩磁达 95% 以上,而在 0.3 T 之后等温剩磁随磁场增

加,其斜率接近于 0,磁铁矿的矫顽力约为 0.3 T,可推断样品主要的磁性矿物为磁铁矿(图 5)。

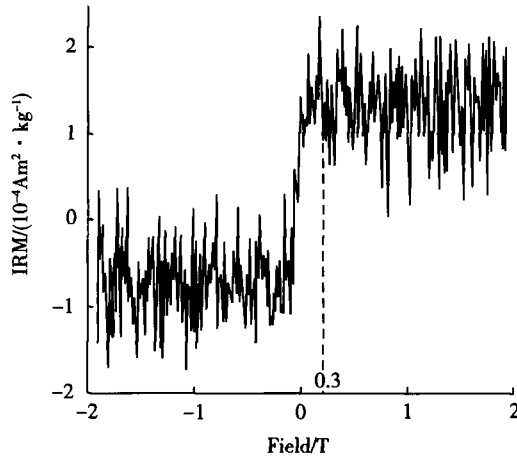


图 5 典型样品等温剩磁(IRM)曲线图

Fig. 5 Isothermal remnant magnetization of the representative sample

不同种类磁性矿物混合体的磁滞回曲线具有不同的形态,磁滞特征可提供亚铁磁性矿物矫顽力和磁畴状态信息,能较好地指示磁性矿物的种类^[21]。分析汤口断裂带典型样品的磁滞回曲线,发现样品磁滞回曲线的线形瘦长,说明样品以低矫顽力亚铁磁性矿物(磁铁矿和磁赤铁矿)为主(图 6)。可知,汤口断裂带的主要载磁矿物以磁铁矿为主,含部分磁赤铁矿。

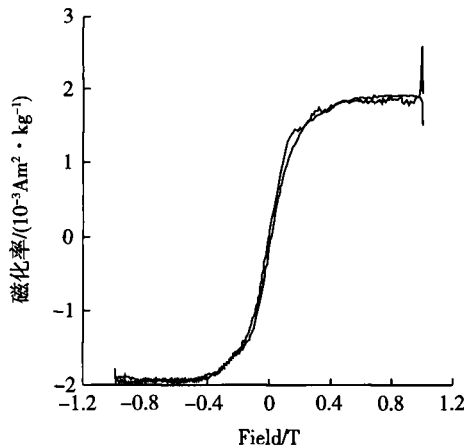


图 6 典型样品磁滞回曲线图

Fig. 6 Magnetic hysteresis loop of the representative sample

5 测试结果

5.1 磁化率各向异性度及椭球体形态

磁化率各向异性度(P_J)、椭球体形状因子(T)、

扁率(E)、平均磁化率(κ_m)、最大磁化率主轴(K_1)、最小磁化率主轴(K_3)等参数可较精确地反映构造带变形特征^[5,21-22]。汤口断裂带样品平均磁化率(κ_m)为 $-7.14 \sim 282$ (表 2)。从样品磁化率各向异性度分布直方图(图 7(a))可知,所有样品磁化率各向异性度总体不高,除少数样品外,大部分样品磁化率各向异性度(P_J)为 $1.02 \sim 1.05$,属于脆-韧性变形或脆性变形。

表 2 汤口断裂带磁组构样品磁学参数

Table 2 Magnetic data for the individual samples in the Tangkou fault zone

编号	κ_m	P_J	T	K_1	K_3
D0412-1	244	1.059	0.413	262/10	143/71
D0412-2	243	1.055	0.456	353/22	153/67
D0412-3	282	1.059	0.297	350/20	154/69
D0412-4	270	1.061	0.453	352/22	151/67
D0412-5	262	1.079	-0.660	170/75	55/7
D0412-6	281	1.138	-0.211	137/69	331/21
D0412-7	254	1.075	0.250	253/1	161/76
D0412-8	248	1.069	0.571	258/4	151/78
D0412-9	259	1.080	-0.901	64/2	327/70
D0412-10	252	1.069	0.542	261/3	156/77
D0416-1	-5.63	1.148	0.744	247/38	359/26
D0416-2	-4.06	1.177	0.656	197/59	4/30
D0416-3	-5.70	1.131	0.653	134/54	358/28
D0416-4	-7.14	1.107	0.791	256/24	2/31
D0416-5	-3.07	1.283	0.705	96/17	358/25
D0416-6	-3.75	1.202	0.892	198/64	2/25
D0416-7	-6.67	1.120	0.839	200/65	4/25
D0419-1	66.2	1.039	0.800	79/21	329/42
D0419-2	64.2	1.035	0.761	87/22	328/50
D0419-3	64.0	1.038	0.751	84/23	327/47
D0419-4	68.4	1.038	0.804	81/16	334/47
D0419-5	55.5	1.146	-0.542	134/68	358/16
D0419-6	62.4	1.038	0.661	93/21	340/46
D0419-7	72.1	1.033	0.658	87/19	337/46
D0419-8	71.4	1.038	0.767	88/23	333/44
D0419-9	71.8	1.037	0.612	81/15	335/46
D0420-1	63.4	1.033	0.490	250/27	133/42
D0420-2	71.0	1.029	0.530	245/29	125/42
D0420-3	63.7	1.030	0.578	250/30	134/38
D0420-4	68.8	1.039	0.594	238/20	127/43
D0420-5	57.3	1.031	0.378	245/23	131/43
D0420-6	85.1	1.022	0.484	246/25	133/40
D0420-7	54.4	1.028	0.404	244/20	132/46
D0420-8	57.0	1.033	0.372	246/16	140/48

磁化率椭球体形状因子(T)是揭示样品应变信息的有效参数,用于表示样品磁组构粗线段数据的平均值类型,当 $T>0$ 为“扁球型”, $T<0$ 为“拉长型”^[10]。从剖面所有样品的 T 值分布直方图可知(图7(c)),大多数样品的 $T>0$,少数样品的 $T<0$,表明磁化率椭球体以“扁球型”为主,伴有少量拉长型,进一步说明汤口断裂带应变主要以压扁为主,兼有少部分拉伸。

岩石磁组构类型也常用 Flinn 图解表示。以 L ($L=K_{\max}/K_{\min}$)为纵坐标, F ($F=K_{\min}/K_{\max}$)为

横坐标,将数据投影于该坐标系中,以 $E=1$ 为界将坐标系划分为2个区域, $E>1$ 表明磁化率椭球体为“拉长型”,岩石中磁线理发育; $E<1$ 磁化率椭球体为“扁球型”,岩石中磁面理较磁线理发育^[10]。由汤口断裂带磁组构样品 Flinn 图解(图7(d))可知,绝大多样品落在 $E<1$ 区域内,即大多数样品具有“扁球型”磁组构,与磁化率椭球体形状因子 T 揭示的结果一致,进一步证明汤口断裂带剖面的样品磁面理较磁线理发育。

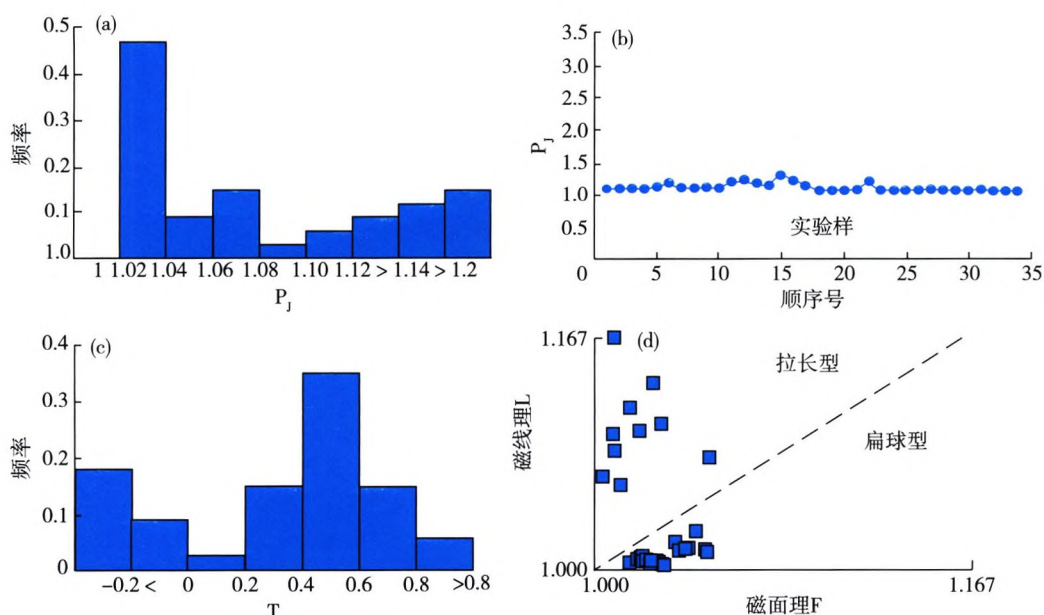


图7 样品磁化率各向异性度(P_j)分布直方图(a)及散点图(b)、磁化率椭球体形态因子(T)分布直方图(c)、磁组构 Flinn 图(d)

Fig. 7 Frequency histogram of the degree of magnetic susceptibility anisotropy(P_j)(a); scatter diagram of the degree of magnetic susceptibility anisotropy(P_j) (b); frequency histogram of the shape factor of magnetic susceptibility ellipsoid(T) (c); and Flinn plot of magnetic fabrics (d)

5.2 磁化率椭球体主轴方位

样品磁化率椭球体3个方向主轴在下半球等面积的投影如图8所示。可知,绝大多数样品磁化率椭球体最小轴方向倾角变化较大,投点从边缘到中心均有分布,但多数集中于象限Ⅱ和象限Ⅳ,沿NNW—SSE向具有明显的优选分布特征;最大轴方向倾角较小,投点多数集中在边缘的象限Ⅰ和象限Ⅲ,沿NEE—SWW向有明显的优选分布特征;中间轴投影与最小轴类似,从投影边缘至中心均有分布,与最小轴分布具有一定的共轭关系,显示弱变形组构的特征^[23-25]。

6 讨论

众所周知,未发生构造变形的沉积岩,其磁性矿物一般平行于层理的沉积压实,磁化率椭球反映原生沉积磁组构特征。而原生沉积磁组构主要表现为磁面理平行于层面,最大轴($K_{\max}$)和中间轴($K_{\min}$)杂乱分散在层面上,最小轴($K_{\min}$)垂直于层面;原生沉积磁组构形成后,若岩层受持续增强的构造应力作用,原生沉积磁组构将根据外界构造应力作用逐渐调整并改变其赋存形态。在弱变形阶段,施加在岩石上的构造应力促使磁性矿

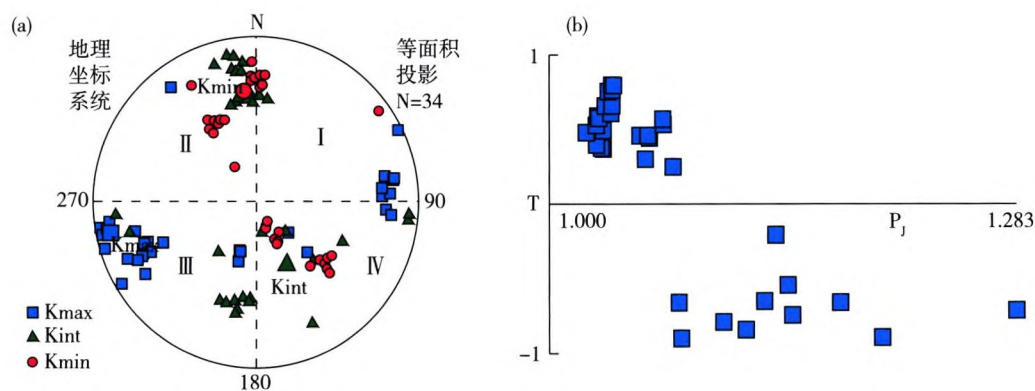


图 8 地层矫正后的样品磁组构等面积投影图(a)及最大轴 Kmax 对应的 P_j -T 图(b)

Fig. 8 Equal-area projection (a) of magnetic fabrics of samples after strata correction and corresponding P_j -T relation plot of the maximum axis (b)

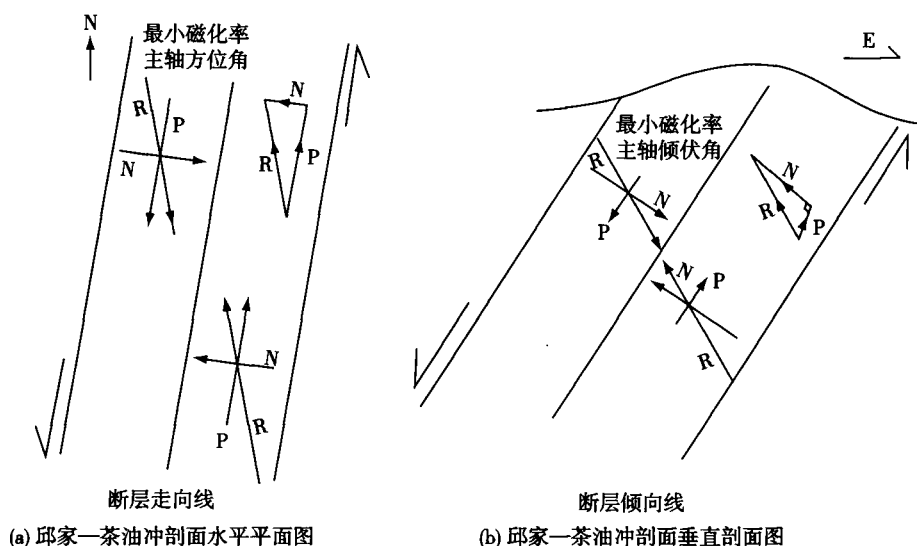
物颗粒形状及易磁化轴的方向发生改变,但磁组构的磁面理依然平行于层面,最小轴(Kmin)垂直于层面,但层面上的最大轴(Kmax)和中间轴(Kint)分离,且相对集中分布^[26-28]。通过对比汤口断裂带内部磁组构实验样品,发现靠近主断裂带采集的磁组构样品最小轴(Kmin)与最大轴(Kmax)具有集中的方位性,说明汤口断裂带晚燕山期—喜马拉雅期构造活动对内部岩石的磁性矿物影响较明显,使样品磁组构最大轴(Kmax)与最小轴(Kmin)集中分布。

研究表明,变形岩石的磁化率椭球与应变椭球具有对应性^[28-31]。磁化率椭球体最小轴代表最大应变压缩轴,即最大压应力方向^[5,26,32-35]。由剖面磁组构样品最小轴(Kmin)与最大轴(Kmax)分布可知,最小轴(Kmin)具 NNW—SSE 向分布趋势,最大轴(Kmax)具 NEE—SWW 向分布趋势。结合区域构造背景,认为汤口断裂带剖面磁组构是在原始沉积组构的基础上叠加近 NNW—SSE 向主压应力作用,伸展方向为 NEE—SWW 向。

本文磁组构样品主要为汤口断裂带砂岩及灰岩。前人研究认为该断裂带为形成于燕山中晚期的脆性断裂^[36]。野外地质调查发现,该断裂带切割了早白垩世榔桥岩体,前人对其进行年代学研究^[37-39],认为该断裂自形成后经历了晚燕山运动和新生代喜马拉雅运动。晚燕山运动在皖南地区为区域性 NNE 向—SSW 向挤压应力作用,并派生近 EW 向伸展作用,使一系列先存或新生的、走向 NNE 向的断层转变为正断层^[40-44]。喜马拉雅期(中

新世—早更新世, 23~0.78 Ma)在澳大利亚板块向北俯冲、挤压的影响下,中国东部地区最大主压应力方向为近 SN 向,伸展方向为近 EW 向,重新活动的正断层走向主要为近 SN 向或 NNE 向^[42-45]。前人调查发现,该区近 SN 向的构造(断裂)后期使矿脉左行错动,断距一般为 0.1~10 m,推断该期受 NW—SE 向主应力作用^[14],该认识与本文观点基本一致。此外,由于磁组构对沉积物构造应力作用的反应敏感,磁性矿物也随构造应力场的变化相应调整^[1,4,46-47],故认为,汤口断裂带的磁组构主要反映新生代构造变形。

汤口断裂带剖面构造岩的磁组构样品最小磁化率主轴优势方位为 $354^\circ \angle 33^\circ$,代表近 NNW—SSE 向的挤压应力作用。对磁组构样品最小磁化率主轴优势方位三维空间矢量分解可知,在水平面上最小磁化率主轴与汤口断裂带走向线呈小角度斜交,分别沿平行于断裂带走向线和垂直断裂带走向线对最小磁化率主轴优势方位角定义的单位合矢量进行分解,不仅显示沿水平面有近 SN 向挤压,近 EW 向拉张,还表明水平面上逆时针转动,即具左行平移性质(图 9(a))。而在与断层走向垂直的横切面中,磁组构样品最小磁化率主轴与断裂面也斜交,分别沿平行及垂直于断裂带倾向方向对最小磁化率主轴倾伏角定义的单位合矢量分解(图 9(b)),显示汤口断裂带晚期构造运动中上盘相对下盘下降,即具正断性质。因此,汤口断裂带晚期构造变形主体以正断拉张为主,兼具较微弱左行走滑。



R. 用最小磁化率主轴优势方位或倾伏角定义的单位合矢量; P. 平行断裂带走向的分量; N. 垂直断裂带的分量。

图9 磁组构与汤口断裂带运动关系示意图

Fig. 9 Sketch diagram showing correlation between magnetic fabric and kinematics of the Tangkou fault zone

7 结 论

(1)通过汤口断裂带沉积地层的主要载磁矿物为磁铁矿。

(2)岩石磁组构为在原生沉积磁组构基础上叠加弱变形组构;磁化率椭球体最大轴沿 NEE—SWW 向与最小轴沿 NNW—SEE 向分布,反映汤口断裂带晚期构造活动受 NNW—SSE 向挤压,兼 NEE—SWW 向拉张应力作用。

(3)汤口断裂带磁组构反演的应力方向与皖南地区中新世—早更新世应力方向一致,该断裂带在中新世—早更新世(23~0.78 Ma)发生过具左行平移的正断拉张。

参考文献

- [1] Cifelli F, Rossetti F, Mattei M, et al. An AMS, structural and paleomagnetic study of Quaternary deformation in eastern Sicily[J]. *Journal of Structural Geology*, 2004, 26(1): 29-46.
- [2] Kodama K P. Magnetic fabrics[J]. *Reviews of Geophysics*, 1995, 33(Z): 129-135.
- [3] Borradaile G J. Magnetic susceptibility, petrofabrics and strain[J]. *Tectonophysics*, 1988, 156(1): 1-20.
- [4] Li Y, Liang W T, Zhang G W, et al. Granitoid emplacement during syn-convergent transtension: an example from the Huamenlou pluton in North Qinling, central China[J]. *Geoscience Frontiers*, 2018, 9(1): 191-205.
- [5] Tarling D, Hrouda F. Magnetic anisotropy of rocks[M]. University of Cambridge, 1993.
- [6] 张志亮, 沈忠悦, 汪新, 等. 库车坳陷克拉苏河新生代沉积岩磁组构特征与古流向分析[J]. *地球物理学报*, 2013, 56(2): 567-578.
- [7] 梁文天, 张国伟, 鲁如魁, 等. 秦祁接合带造山缝合带磁组构特征及其构造意义[J]. *地球物理学报*, 2009, 52(1): 140-149.
- [8] 鲁如魁, 张国伟, 钟华明, 等. 从郭扎错断裂构造特征探讨阿尔金断裂带西延问题[J]. *中国地质*, 2007, 34(2): 229-239.
- [9] 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.
- [10] 李自红, 李斌, 刘鸿福, 等. 韩城断裂带 NE 段构造应力特征[J]. *地震地质*, 2015, 37(2): 468-481.
- [11] Steinhart J S, Smith T J. Significance of Magnetic Anisotropy in Appalachian Sedimentary Rocks [M]. American Geophysical Union, 2013(10): 627-648.
- [12] 许同春, 刘秀铭, 曹继秀. 岩石磁性组构的研究述评[J]. *国际地震动态*, 1987(3): 1-6.
- [13] 李双, 孙赛军, 杨晓勇, 等. 皖南乌溪斑岩型金矿床赋矿侵入岩体的岩石地球化学及年代学研究[J]. *大地构造与成矿学*, 2015, 39(1): 153-166.
- [14] 刘惠华. 乌溪金矿成矿后期构造分析在坑道探矿中的作用[J]. *西部探矿工程*, 2003, 15(9): 65-66.

- [15] 刘惠华,朱宁. 皖南泾县乌溪地区金矿成矿条件分析[J]. 安徽地质, 2004, 14(1): 30-32.
- [16] 赵永利,史春旺,刘惠华. 安徽省泾县乌溪金矿地质特征及控矿因素[J]. 西部探矿工程, 2013, 25(8): 106-108.
- [17] 刘琛琛,杨钱江. 安徽省泾县乌溪金矿地质特征及控矿因素浅析[J]. 科技视界, 2012(25): 343-344.
- [18] 孙玉芳,强小科,徐新文,等. 黄土高原西北缘末次冰期晚期以来黄土沉积物的岩石磁学性质[J]. 地球物理学报, 2011, 54(5): 1310-1318.
- [19] 刘秀铭,吕镔,李平原,等. 加热环境对人工合成磁赤铁矿热磁行为的影响[J]. 地球物理学报, 2013, 56(5): 1560-1567.
- [20] 彭杰,杨小强,强小科. 钱塘江河口周边钻孔磁性地层学研究及意义[J]. 地球物理学报, 2016, 59(8): 2949-2964.
- [21] Thompson R, Oldfield F. Environmental magnetism [M]. London: Allen Unwin, 1986: 1-127.
- [22] 侯贵廷,王传成,李乐. 华北南缘古元古代末岩墙群侵位的磁组构证据[J]. 岩石学报, 2010, 26(1): 318-324.
- [23] Hrouda František, Krejčí Oldřich, Potfaj M, et al. Magnetic fabric and weak deformation in sandstones of accretionary prisms of the Flysch and Klippen Belts of the Western Carpathians: Mostly offscraping indicated [J]. Tectonophysics, 2009, 479(3): 254-270.
- [24] Rochette P, Jackson M, Aubourg C. Rock magnetism and the interpretation of anisotropy of magnetic susceptibility [J]. Reviews of Geophysics, 1992, 30(3): 209-226.
- [25] Aubourg C, Rochette P, Vialon P. Subtle stretching lineation revealed by magnetic fabric of Callovian-Oxfordian black shales (French Alps) [J]. Tectonophysics, 1991, 185(3/4): 211-223.
- [26] 李震宇,黄宝春,张春霞. 河南西南部典型白垩纪剖面的岩石磁组构特征及其构造意义[J]. 岩石学报, 2010, 26(11): 3418-3430.
- [27] Parés J M, Pluijm B A V D. Evaluating magnetic lineations (AMS) in deformed rocks [J]. Tectonophysics, 2002, 350(4): 283-298.
- [28] Sagnotti L, Faccenna C, Funiciello R, et al. Magnetic fabric and structural setting of Plio-Pleistocene clayey units in an extensional regime: the Tyrrhenian margin of central Italy [J]. Journal of Structural Geology, 1994, 16(9): 1243-1257.
- [29] Kligfield R, Lowrie W, Dalziel I W D. Magnetic susceptibility anisotropy as a strain indicator in the sudbury Basin, Ontario [J]. Tectonophysics, 1977, 40(3): 287-308.
- [30] Borradaile G J, Tarling D H. The influence of deformation mechanisms on magnetic fabrics in weakly deformed rocks [J]. Tectonophysics, 1981, 77(1): 151-168.
- [31] 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(1): 94-98.
- [32] 李建忠,潘忠习,冯心涛,等. 聂拉木地区高喜马拉雅岩石磁组构及其构造含义[J]. 地球物理学报, 2006, 49(2): 496-503.
- [33] 崔可锐,施央申. 岩石磁组构在构造混杂岩带和韧性剪切带研究中的应用——以西天山地区为例[J]. 地球物理学进展, 1998, 13(1): 40-51.
- [34] 许顺山,陈柏林. 应用岩石磁性组构研究动力变形作用[J]. 地球学报, 1998, 13(1): 19-24.
- [35] 周勇,王二七,李齐,等. 拉脊山及邻区磁组构特征及其地质意义[J]. 中国科学: 地球科学, 2001(增刊): 187-194.
- [36] 杜建国,许卫,孙乘云. 安庆市幅区域地质调查报告[R]. 合肥:安徽省地质调查院, 2005: 377-378.
- [37] 李双,杨晓勇,孙卫东,等. 皖南泾县榔桥岩体锆石 U-Pb 定年、Hf 同位素和地球化学特征及其找矿指示意义[J]. 地质学报, 2014, 88(8): 1561-1578.
- [38] 赵玉琛. 皖南两花岗岩体的岩石学特征及成矿专属性判别[J]. 安徽地质, 1994(4): 31-43.
- [39] 李玉松,蔡晓兵,汪晶,等. 安徽庐枞盆地黄寅冲铅锌矿床闪长玢岩锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 华东地质, 2016, 37(1): 19-27.
- [40] Wan T F. The Tectonics of China: Data, Maps and Evolution [M]. Beijing: Higher Education Press, 2011: 1-501.
- [41] 万天丰,王亚妹,刘俊来. 中国东部燕山期和四川期岩石圈构造滑脱与岩浆起源深度[J]. 地学前缘, 2008, 15(3): 1-35.
- [42] 万天丰. 中国大地构造学[M]. 北京:地质出版社, 2011: 1-497.
- [43] 万天丰,赵庆乐. 中国东部构造—岩浆作用的成因[J]. 中国科学:地球科学, 2012, 42(2): 155-163.
- [44] 王亚妹,万天丰. 中国东部新生代岩石圈构造滑脱、岩浆活动和地震[J]. 现代地质, 2008, 22(2): 207-229.
- [45] 胡召齐,江来利,徐生发,等. 安徽休宁—歙县东南部地区金多金属矿控矿构造研究[J]. 华东地质, 2016, 37(4): 259-265.
- [46] Kissel C, Barrier E, Laj C, et al. Magnetic fabric in “undeformed” marine clays from compressional zones [J]. Tectonics, 1986, 5(5): 769-781.

[47] Rochette P, Jackson M, Aubourg C. Rock magnetism and the interpretation of anisotropy of magnetic susceptib-

ility[J]. *Reviews of Geophysics*, 1992, 30(3): 209-226.

Anisotropy of magnetic susceptibility characteristics in the Tangkou fault zone in South Anhui, and its geological significance

WANG Chao¹, CHU Dong-ru¹, LI Yang², ZHANG Zan-zan¹, WU Xue-feng¹

(1. *Geological Survey of Anhui Province, Hefei 230001, China*; 2. *Northwest University, Xi'an 710000, China*)

Abstract: Stress field characteristic of regional structure in fault zone is an important basis for better understanding the tectonic activity of faults. Magnetic fabric is the most effective tool to study the regional structure in the area with less indicators of strain gauge. On the basis of 1:50 000 regional geological survey map in Houshan of Anhui, rock magnetic fabric characteristic of the Tangkou fault zone was systematically studied. The results show that magnetite is the major magnetic mineral in the sediments of the fault zone. Rock magnetic susceptibility takes a shape of ellipsoid, indicating overprint of weak deformation on primary sedimentary fabric. $K_{\max}$ and $K_{\min}$ of the magnetized spheroid trend NEE-SWW and NNW-SEE respectively, suggesting that, due to effects of NNW-SEE-trending compression stress and weak NEE-SEE-trending extension stress, the Tangkou fault zone initiated as near EW-trending normal faulting, accompanied with weak sinistral-striking slip during Himalayanian, with active time limited between Miocene and Early Pleistocene.

Key words: magnetic fabric; tectonic stress; magnetic minerals; Tangkou fault; South Anhui