幕阜山岩体北缘鄂南地区构造特征与构造控矿作用

林子晗[1]，夏元[1]，张航川[2]，徐先兵[1*]

1. 中国地质大学（武汉）地球科学学院，武汉 430074；
2. 湖北省地质局第四地质大队，湖北 咸宁 437100

第一作者，E-mail：linzihan@cug.edu.cn

* 通信作者，E-mail：xbxu2011@cug.edu.cn

2023-09-12 收稿；2024-03-20 修回；2024-03-28 接受

基金项目：湖北省自然科学基金联合基金项目(2023AFD229)

中图分类号：P612; P542　　文章编号：2096-8523(2025)02-0257-13　　doi: 10.19509/j.cnki.dzkq.tb20230525

摘　要：江南造山带中段幕阜山地区发育规模巨大的早白垩世 Li-Be-Cs-Nb-Ta 等稀有金属和 Pb-Zn-Cu-Au-Sb 等有色金属岩浆-热液成矿系统。幕阜山岩体南、北缘的湘东北和鄂南地区具有相同的成矿物质基础，但现有矿产勘探成果差距明显，可能是构造变形差异所致。本研究通过构造解析、古应力场反演以及矿床分布规律，探讨了鄂南地区的构造控矿作用。构造解析表明 E-W 走向江南断裂形成于新元古代，保存了三叠纪由 S 向 N 的逆冲作用、晚白垩世断层上盘向 SE 的正断作用和古近纪 E-W 走向左行剪切作用；而 NE-SW 走向长坪断裂形成于中侏罗世燕山运动，记录了早白垩世晚期左行走滑、晚白垩世正断作用和古近纪晚期右行走滑。基于断层滑移矢量反演的古应力场揭示鄂南地区经历了早白垩世晚期走滑(近 N-S 向最大主应力)、晚白垩世 NW-SE 走向伸展、古近纪早期走滑(NE-SW 向最大主应力)和古近纪中-晚期 NE-SW 走向伸展的应力场演化历史。结合研究区的金属矿床分布特征，认为鄂南地区 NE-SW 走向主干断裂的次级近平行断裂或与其相交的 NW-SE 走向和近 E-W 走向断裂具有较好的金属矿产勘探潜力。

关键词：幕阜山岩体；构造变形；古应力场；构造控矿作用；江南造山带；鄂南地区

幕阜山位于湘-鄂-赣 3 省交界部位，是我国重要的 Li-Be-Cs-Nb-Ta 等稀有金属和 Pb-Zn-Cu-Au-Sb 等有色金属的矿集区[1-5]。该地区金属矿主要受 NE 向构造-岩浆带控制，呈 NE 向分布[6-7]。Li-Be-Cs-Nb-Ta 等稀有金属主要发育在幕阜山岩体内部和周缘的伟晶岩脉之中[8-12]，而 Pb-Zn-Cu-Au-Sb 等有色金属主要发育在岩体周缘低级变质岩的裂隙之中[2, 13-15]，二者构成了幕阜山岩浆-热液成矿系统[5, 15-17]。目前，幕阜山地区晚中生代稀有金属和有色金属的找矿突破主要集中在岩体南缘的湘东北地区[5, 18]，而在岩体北缘鄂南地区的找矿工作尚未取得明显进展。

湘东北和鄂南地区具有相同的成矿物质基础，二者均位于新元古代江南造山带中段，遭受晚中生代幕阜山岩体的侵位和白垩纪至古近纪断陷盆地的叠加。因此，湘东北和鄂南地区晚中生代稀有金属和有色金属等矿床发育的差异可能主要受构造变形的控制。笔者以鄂南地区发育的构造变形为主要研究对象，通过构造解析和古应力场反演，最终结合矿床分布特征来探讨断裂构造对稀有金属和有色金属的控矿作用。

1　地质背景

幕阜山地区位于华南板块中部新元古代江南造山带的中段。江南造山带中段主要由青白口系冷家溪群浅变质碎屑岩和新元古代中期花岗岩组成[19-20]。

著录信息：林子晗，夏元，张航川，等. 幕阜山岩体北缘鄂南地区构造特征与构造控矿作用 [J]. 地质科技通报，2025，44(2)：257-269.
LIN Zihan, XIA Yuan, ZHANG Hangchuan, et al. Structural characteristics and tectonic controls on mineralization in the northern margin of the Mufushan pluton, southern Hubei region[J]. Bulletin of Geological Science and Technology, 2025, 44(2): 257-269.

© Editorial Office of Bulletin of Geological Science and Technology. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license.　https://dzkjqb.cug.edu.cn

拉伸系冷家溪群浅变质碎屑岩与上覆成冰系莲沱组砂岩和南沱组冰碛岩呈角度不整合接触或以 E-W 向江南断裂相接触[21]。而南沱组冰碛岩与上覆埃迪卡拉系至志留系海相沉积呈平行不整合接触[22]。上古生界主要为一套海相灰岩，其底部为中泥盆统石英砂岩[23]，平行不整合于下古生界之上。

晚中生代幕阜山岩体侵位于拉伸系至志留系之中，且被上白垩统至古近系紫红色砂砾岩不整合覆盖(图 1)。幕阜山岩体的主要岩性为石英二长岩、花岗闪长岩和二长花岗岩，锆石 U-Pb 年代学指示其形成于 155 ~ 149 Ma 和 140 ~ 130 Ma[8, 24-26]。

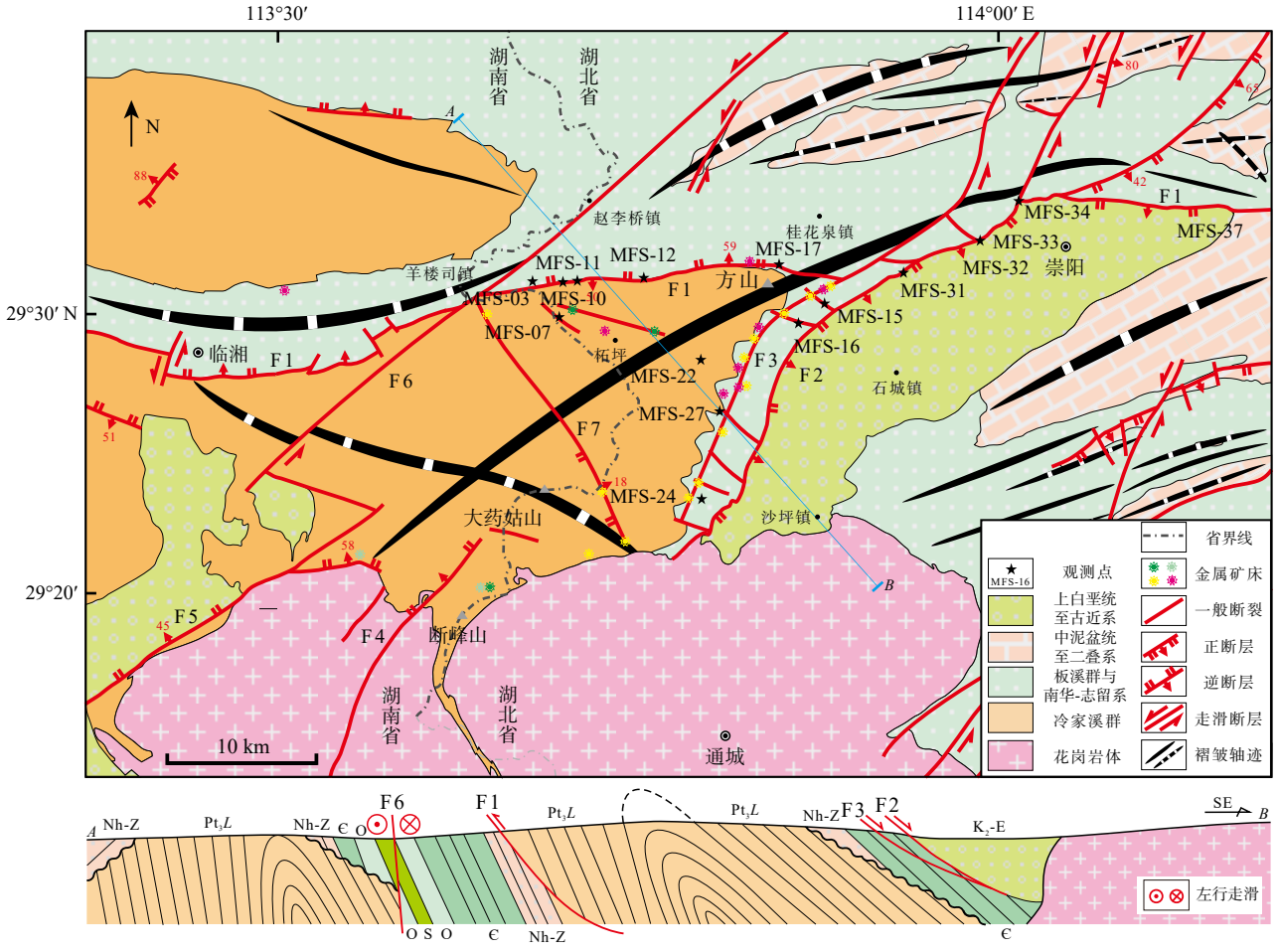
研究区的构造变形主要表现为褶皱和断裂，其构造线方向主要为 NWW-SEE 走向、NE-SW 走向和近 E-W 走向(图 1)。褶皱构造主要包括 NWW-SEE 走向的大药姑山倒转向斜和 NE-SW 走向的方山倒转背斜。断裂构造主要包括近 E-W 走向的江南断裂，NE-SW 走向的长坪断裂、宝林断裂、孟城断裂、桃林断裂和赵李桥断裂，NW-SE 走向的麻颈断裂。大药姑山倒转向斜和方山倒转背斜分别形成于新元古代和三叠纪造山作用，而断裂一般具有多期活动特征[27-32]。

2　构造解析

2.1　江南断裂

江南断裂呈近 E-W 走向展布于新元古代江南造山带的北缘，是扬子陆块与江南造山带的分界线[21, 33-35]。江南断裂在遥感图上表现为明显的 E-W 走向线性构造(图 2)，自羊楼司镇经方山向东延伸至路口镇，被 NE-SW 走向赵李桥断裂、宝林断裂和长坪断裂左行斜切。江南断裂在地质上不仅是拉伸系冷家溪群与成冰系莲沱组和南沱组的分界线，而且还是晚白垩世至古近纪崇阳盆地的北界(图 2)。

江南断裂在点 MFS-03 处表现为由北向南的逆



F1. 江南断裂；F2. 长坪断裂；F3. 宝林断裂；F4. 孟城断裂；F5. 桃林断裂；F6. 赵李桥断裂；F7. 麻颈断裂；金属矿床中绿色代表锂矿床，青色代表铌钽矿床，黄色代表金矿床，粉色代表锑矿床；Nh-Z. 成冰系–震旦系；Pt_3L. 青白口系冷家溪群；∈. 寒武系；O. 奥陶系；S. 志留系；K_2-E. 上白垩统–古近系；下同

图 1　幕阜山岩体北缘鄂南地区地质简图

Fig. 1　Geological sketch map of the southern Hubei Province, northern margin of Mufushan pluton

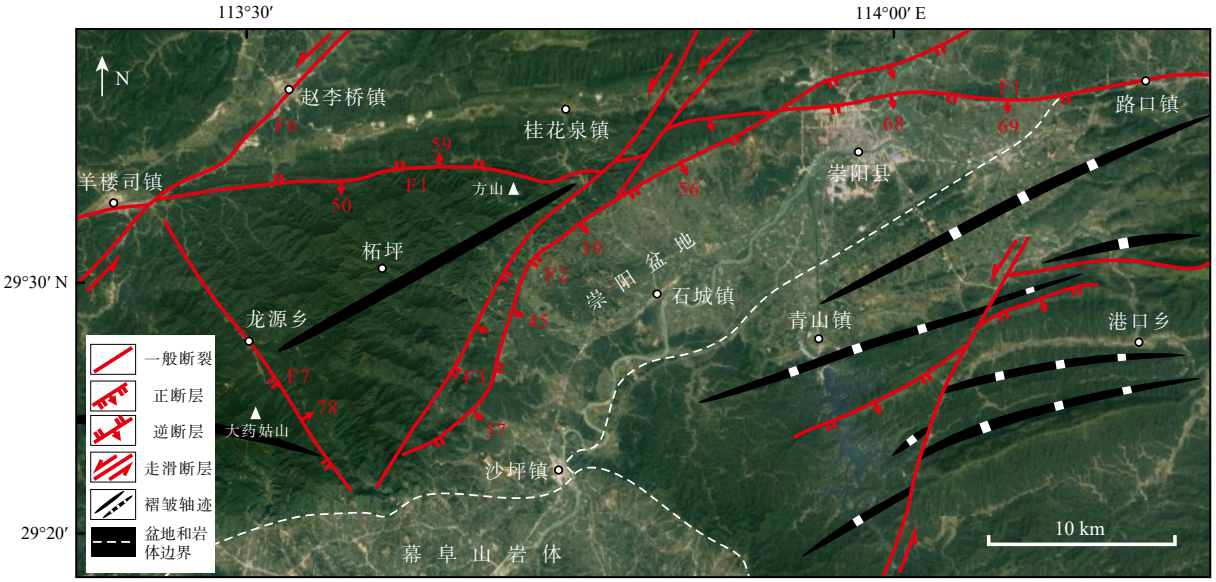
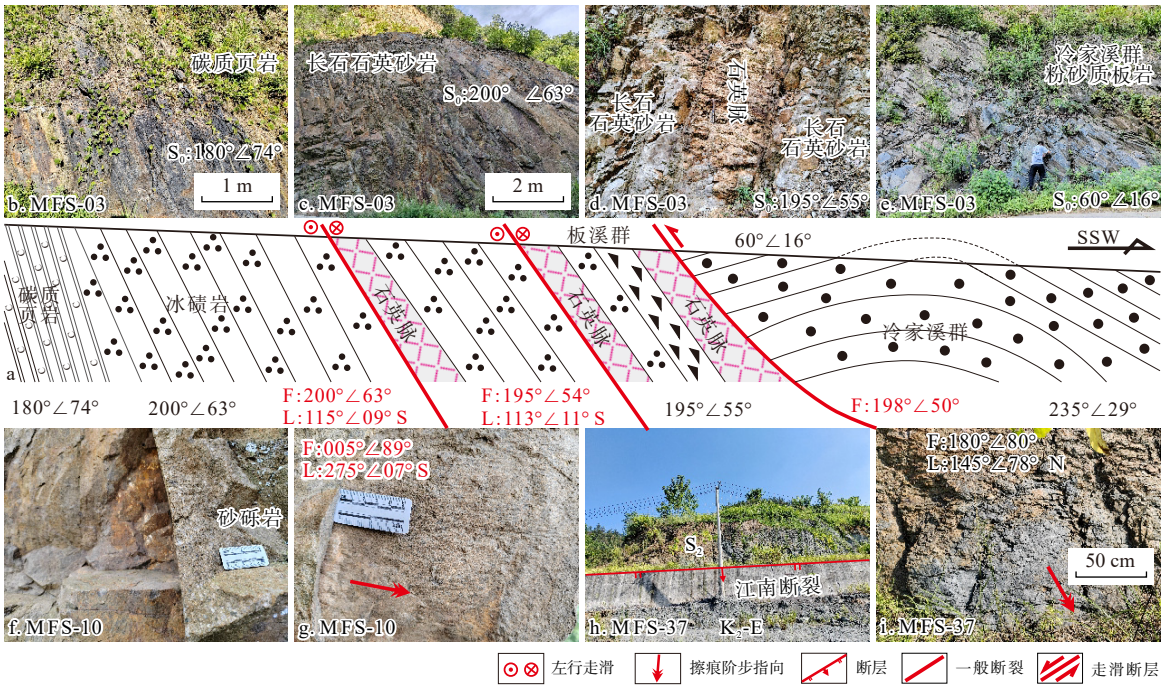


图 2　幕阜山岩体北缘鄂南地区遥感解译图（底图来自谷歌地球）

Fig. 2　Remote sensing interpretation map of the southern Hubei Province, northern margin of the Mufushan pluton

冲作用，导致拉伸系冷家溪群倒置于成冰系莲沱组和南沱组之上(图 3a)。断层上盘的冷家溪群岩层发生褶皱，其北翼和南翼分别倾向 NE 和 SW，倾角平缓，形成 NW-SE 走向圆弧形开阔褶皱。褶皱轴面产状为 262°∠88°，枢纽产状为 147°∠1°，在位态分类中属于直立水平褶皱。断层下盘岩层层序发生倒转，成冰系砂砾岩和长石石英砂岩覆盖在埃迪卡拉系碳质页岩之上(图 3a～e)。沿倒转的近 E-W 走向岩层面发育脆性走滑作用，擦痕和阶步指示左行走滑剪切。近 E-W 走向左行走滑断层截切了 NE-SW 走向高角度断面。擦痕和阶步指示 NE-SW 走向断面表现为正断作用(图 3c, d)。



a. 江南断裂野外露头素描；b. 层序倒转的碳质页岩；c. 层序倒转的长石石英砂岩；d. 层序倒转的长石石英砂岩与沿层面侵入的石英脉；e. 层序正常的冷家溪群粉砂质板岩；f. 层序正常的砂砾岩；g. 石英砂岩中发育的 E-W 走向左行走滑断层；h. 志留系和上白垩统至古近系呈正断层接触；i. 志留系中发育的 E-W 走向正断层；S_0. 岩层产状；F. 断层面；L. 擦痕线理；K_2-E. 上白垩统–古近系；S_2. 中志留统

图 3　江南断裂野外露头素描与野外照片

Fig. 3　Sketch and field photographs of outcrops along the Jiangnan fault

江南断裂在点 MFS-10 处同样表现为脆性走滑作用，岩层产状近直立，倾向北，层序未发生倒转。擦痕和阶步指示沿 E-W 向断层面发生左行剪切(图 3f, g)。在点 MFS-37 处，江南断裂作为晚白垩世至古近纪崇阳盆地的北侧边界断裂，使志留系灰色粉砂岩和上白垩统至古近系紫红色砾岩直接接触。正断作用还导致盆地北缘的志留系岩层产状与向南倾的断面产状强迫一致。在断裂带附近可见志留系发生强烈的断层作用，阶步和擦痕指示断层上盘发生由 NW 向 SE 的正断作用(图 3h, i)。

2.2　长坪断裂

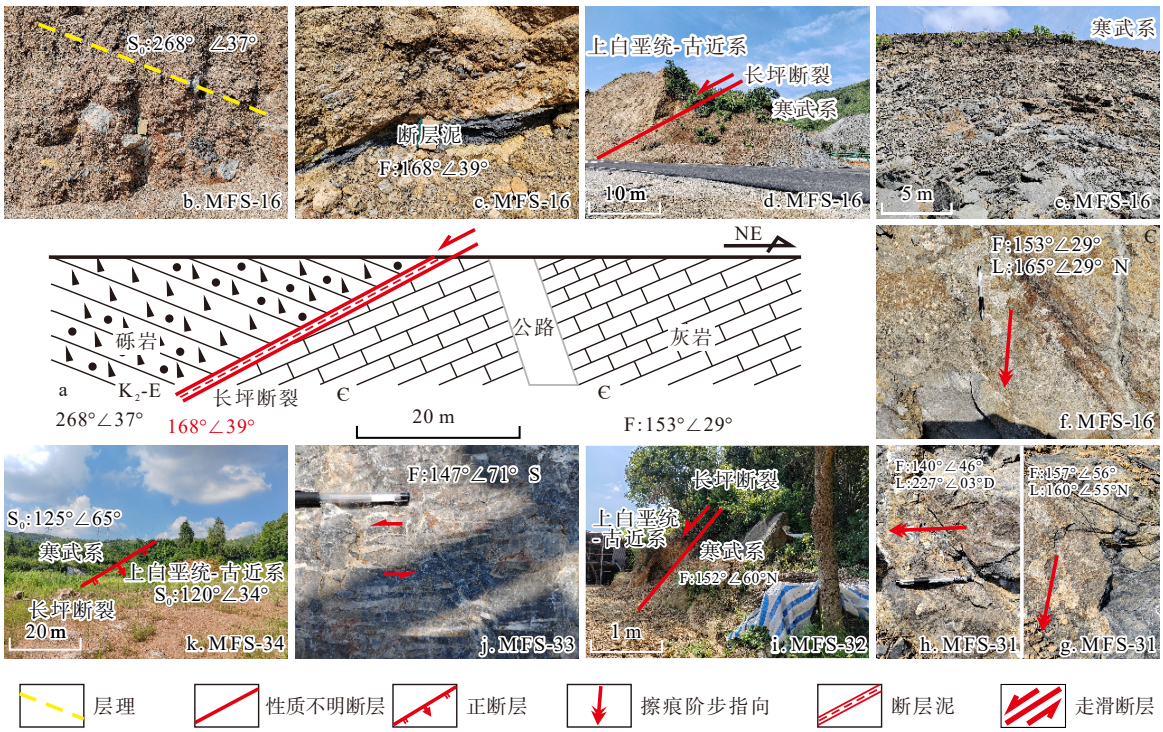
NE-SW 走向长坪断裂表现为晚白垩世至古近纪崇阳盆地的西侧边界断裂(图 1)。NE 走向的长坪断裂对盆地西缘的寒武系岩层产状产生了强迫一致的影响，使其倾向 SE 的断面产状与断裂方向保持一致。

在点 MFS-16 处，上白垩统至古近系紫红色砾岩与下伏寒武系灰岩呈断层接触，二者之间发育 10 ~ 15 cm 厚的断层泥(图 4a ~ e)。断层面倾向南东，倾角较缓，断层面上明显可见擦抹晶体、擦痕和阶步，指示断层上盘由 NW 向 SE 发生下滑(图 4e)。

在点 MFS-31, 32, 33 和 34 处，均可见上白垩统至古近系紫红色砾岩与下伏寒武系灰岩呈断层接触。断层倾向 SE，倾角变化较大，低角度至高角度均有发育。标志层错断、阶步与擦痕、旋转碎斑等指示 NE-SW 走向长坪断裂记录了正断作用(图 4g, i, k)、左行走滑(图 4j)和右行走滑(图 4h)。擦痕叠加关系指示长坪断裂左行走滑形成较早，正断次之，而右行走滑最晚。

2.3　褶皱构造

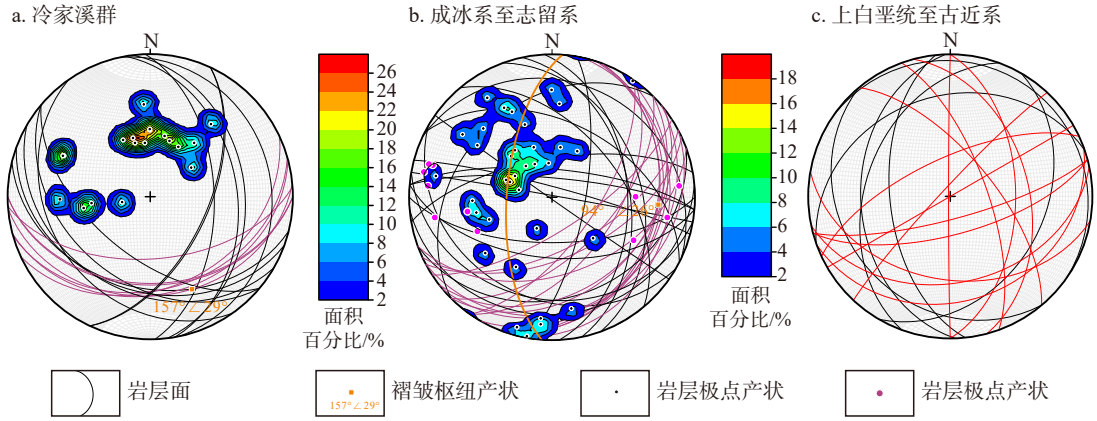
根据图面分析，幕阜山岩体北缘冷家溪群中发育 2 期褶皱(图 1)，早期褶皱走向为 NWW-SEE，褶皱枢纽呈波状弯曲，代表性褶皱为大药姑山倒转向斜；晚期褶皱走向 NE-SW，叠加在 NWW-SEE 褶皱之上，其代表性褶皱为方山倒转背斜。由于冷家溪群的原岩为厚到巨厚层的海相浊积岩，缺乏标志层，本研究未观察到露头尺度的小型褶皱构造。层理统计分析表明，研究区冷家溪群岩层以 NW-SE 走向为主，E-W 走向次之(图 5a)。NW-SE 走向层理倾向 NE 或 SW，形成 NW-SE 向褶皱，根据岩层产状计算得到其枢纽的倾伏向为 SE157°，倾伏角为 29°，与图面褶皱枢纽基本一致。E-W 走向层理以倾向南为主，未见北倾的岩层产状，推测岩层产状与断面产状的



a. 长坪断裂野外露头素描；b. 断层上盘上白垩统至古近系紫红色砾岩；c. 断层泥；d. 上覆上白垩统至古近系紫红色砾岩与下伏寒武系灰岩呈断层接触；e. 断层下盘寒武系灰岩；f. 寒武系灰岩层面上发育的阶步和擦痕指示正断作用；g. 寒武系灰岩层面上发育的阶步和擦痕指示正断作用；h. 寒武系灰岩层面上发育的阶步和擦痕指示右行剪切；i. 上覆上白垩统至古近系紫红色砾岩与下伏寒武系灰岩呈断层接触；j. 寒武系灰岩中白云岩旋转碎斑指示左行走滑；k. 上覆上白垩统至古近系紫红色砾岩与下伏寒武系灰岩呈断层接触

图 4　长坪断裂野外露头素描与野外照片

Fig. 4　Sketch and field photographs of outcrops along the Changping fault



a. 冷家溪群岩层的产状及其计算的褶皱枢纽；b. 成冰系至志留系岩层的产状及其计算的褶皱枢纽；c. 上白垩统至古近系岩层(黑色)及其中断层(红色)的产状

图 5　幕阜山岩体北缘鄂南地区不同岩层产状的赤平投影（等面积下半球）

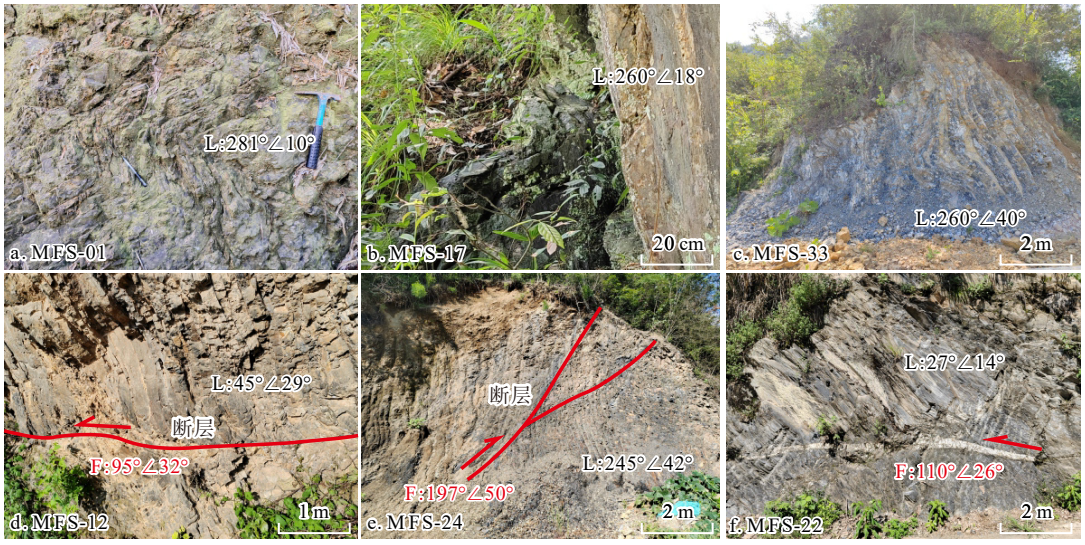
Fig. 5　Stereonet projections of attitudinal from various layers in the southern Hubei Province, northern margin of the Mufushan pluton (equal area, lower hemisphere)

一致性是由于 NE 走向的长坪断裂和宝林断裂的活动所导致的。

研究区成冰系至志留系和上古生界之间呈平行不整合接触，褶皱构造样式基本一致，表现为连续的 NE-SW 走向背斜和向斜(图 1)。成冰系至志留系岩层的走向为近 E-W 或 NE-SW(图 5b)。近 E-W 走向岩层倾向 SSE 或 NNE，倾角平缓，根据岩层产状计算的褶皱枢纽产状为 94°∠26°(图 5b)。NE-SW 走向岩层倾向以 SE 为主，倾向 NW 的岩层不发育，推测是 NE 向长坪断裂和宝林断裂活动导致岩层产状与断面产状强迫一致。

在成冰系至志留系岩层中可以观察到露头尺度不同走向的小型褶皱，以 E-W 走向和 NE-SW 走向为主(图 6)。E-W 走向褶皱枢纽向 NWW 或 SEE 倾伏，倾伏角为 10° ~ 40°(图 6a ~ c)，与根据岩层产状计算得到的褶皱枢纽产状近似一致。NE-SW 走向褶皱枢纽向 NE 或 SW 倾伏，倾伏角为 14° ~ 42°，以牵引褶皱为主，是 NNE 和近 E-W 走向断层活动的产物(图 6d, e, f)。

上白垩统至古近系岩层的产状无明显规律(图 5c)，主要受控于盆地沉积时的边界形态。上白垩统至古近系岩层中主要发育 2 组断裂，1 组走向 NEE-SWW，倾向以 SE 为主；1 组走向 NNW，倾向以 NEE 为主。



a. 近 E-W 走向褶皱；b. 近 E-W 走向褶皱；c. 近 E-W 走向褶皱；d. 近 N-S 走向逆断层活动形成的 NE-SW 走向褶皱；e. 近 E-W 走向逆断层活动形成的 NW-SE 走向褶皱；f. NNE 走向逆断层活动形成的 NE-SW 走向褶皱

图 6　幕阜山岩体北缘鄂南地区露头褶皱的野外照片

Fig. 6　Field photographs of outcrop folds in the southern Hubei Province, northern margin of the Mufushan pluton

3 古应力场反演

构造应力场反演的主要目的是模拟特定岩石的应力状态,并重建简化的应力张量[36],其研究对象包括张性破裂(无边缘带的羽状节理、张裂隙、矿脉和岩墙)、剪性破裂(共轭剪节理、错开标志层的滑移面)以及压性破裂(劈理)[37]。笔者以幕阜山岩体北缘地区发育的脆性断层为研究对象(表 1),利用断层滑移矢量反演了断层活动时的古应力场。断层滑移矢量反演法是基于 Wallace-Bott 原理,利用野外测量的脆性断层几何学要素与运动学指向厘定 3 个相互垂直主应力的方位和相对大小[37]。几何学要素是指断层面的倾向与倾角和擦痕的倾伏向与倾伏角,而运动学指向是指断层的运动学性质,如正断层、逆断层、左行走滑断层以及右行走滑断层。主应力方位是指最大(σ_1)、中间(σ_2)以及最小主应力(σ_3)3 个正交应力轴的方位(S1, S2, S3),包括其倾伏向与倾伏角。主应力相对大小是指 3 个互相垂直的主应力两两差值的比值,即(σ_2-σ_3)/(σ_1-σ_3)。断层滑移矢量反演得到的古应力场可以利用正二面体法与旋转优化法进行优化,并使用 QRw 和 QRt 参数对反演结果进行质量(A, B, C, D, E,其中 A 代表数据质量最好,

表 1 幕阜山岩体北缘鄂南地区用于应力场反演的断层滑移矢量数据

Table 1 Fault-slip data for stress inversion analysis in the southern Hubei Province, northern margin of the Mufushan pluton

观测点	MFS-15					MFS-16					MFS-37				
编号	倾向/(°)	倾角/(°)	倾伏向/(°)	倾伏角/(°)	运动学	倾向/(°)	倾角/(°)	倾伏向/(°)	倾伏角/(°)	运动学	倾向/(°)	倾角/(°)	倾伏向/(°)	倾伏角/(°)	运动学
1	305	88	032	44	S	197	26	135	13	N	188	44	138	32	N
2	300	79	018	46	S	165	68	153	68	N	180	80	145	78	N
3	124	88	034	12	S	168	39	155	38	N	185	68	156	65	N
4	131	89	042	30	S	166	79	165	79	N	165	64	143	62	N
5	235	89	145	18	D	185	63	142	55	N	170	60	149	58	N
6						190	82	142	78	N	170	59	144	56	N
7											166	69	149	68	N
8											165	69	148	68	N
观测点	MFS-03					MFS-07					MFS-10				
编号	倾向/(°)	倾角/(°)	倾伏向/(°)	倾伏角/(°)	运动学	倾向/(°)	倾角/(°)	倾伏向/(°)	倾伏角/(°)	运动学	倾向/(°)	倾角/(°)	倾伏向/(°)	倾伏角/(°)	运动学
1	195	54	113	11	S	220	54	292	23	S	002	74	278	19	S
2	193	70	110	16	S	230	51	141	01	S	010	69	286	16	S
3	198	71	111	10	S	230	61	303	28	S	000	86	090	10	S
4	200	63	115	09	S	205	59	290	07	S	000	73	275	14	S
5	200	64	118	16	S	217	52	297	13	S	010	79	283	15	S
6	173	72	084	04	S	220	49	296	16	S	005	89	275	07	S
7	180	74	093	09	S	210	58	290	16	S	000	90	270	05	S
8						210	33	293	05	S	355	71	073	30	S
9						235	73	323	07	S	356	90	266	10	S
观测点	MFS-11					MFS-17					MFS-27				
编号	倾向/(°)	倾角/(°)	倾伏向/(°)	倾伏角/(°)	运动学	倾向/(°)	倾角/(°)	倾伏向/(°)	倾伏角/(°)	运动学	倾向/(°)	倾角/(°)	倾伏向/(°)	倾伏角/(°)	运动学
1	345	61	073	04	S	263	75	263	75	I	225	44	187	37	N
2	350	63	262	04	S	077	62	077	62	I	217	37	220	37	N
3	340	63	255	09	S	075	38	075	38	I	220	48	206	47	N
4	350	66	076	08	S	073	45	073	45	I	214	40	221	40	N
5	353	70	265	05	S	086	52	086	52	I					
观测点	MFS-31					MFS-32									
编号	倾向/(°)	倾角/(°)	倾伏向/(°)	倾伏角/(°)	运动学	倾向/(°)	倾角/(°)	倾伏向/(°)	倾伏角/(°)	运动学					
1	157	56	56	229	D	022	88	022	88	N					
2	143	35	35	217	N	034	65	034	65	N					
3	165	41	41	236	N	015	65	015	65	N					
4	140	46	46	227	D	034	46	034	46	N					
5	170	49	49	247	D	036	60	036	60	N					

注: N, I, S, D分别代表正断层, 逆断层, 左行平移断层和右行平移断层

而为 E 最差)评估[37]。本研究在幕阜山岩体北缘地区厘定了四期构造应力场，其古应力场参数如表 2 所示。早期断层面上的擦痕受后期断层活化作用难以保存，因此搜集到的早期断层滑移矢量数据相对较少。应用于江南断裂应力场反演的数据是经过实地详细调查所得，虽数据偏少，但具有代表性。

第一期为走滑应力场，其最大和最小主应力轴近水平，延伸方向分别为近 N-S 向和近 E-W 向，而中间主应力轴近竖直(图 7a)。该走滑应力场导致 NE-SW 走向断层发生左行走滑，NW-SE 走向断层发生右行走滑，二者组成共轭走滑断层。

第二期为 NW-SE 向伸展，其最小主应力轴近水平，呈 NW-SE 走向展布，而最大主应力轴近竖直(图 7b, c)。NW-SE 向伸展应力场形成 NE-SW 向正断层，并使近 E-W 向断层发生构造活化。

第三期 NE-SW 挤压，其最大和最小主应力轴近水平，延伸方向分别为近 NE-SW 向和近 NW-SE 向，而中间主应力轴近竖直(图 7d ~ h)。该走滑应力场形成 NW-SE 走向逆断层，并使近 E-W 走向高角度断层和 NW-SE 走向中等角度断层发生构造活化，分别发生左行走滑和右行走滑，二者构成共轭走滑断层。

表 2　幕阜山岩体北缘鄂南地区早白垩世晚期至古近纪应力场

Table 2　Paleostress fields from Late Early Cretaceous to Paleogene in the southern Hubei Province, northern margin of the Mufushan pluton

观测点	地层时代	数据个数	主应力轴方位(倾伏向/倾伏角)			主应力相对大小*R*	应力场期次	应力场形成时代
			S1	S2	S3			
MFS-15	寒武纪	5	351/15	230/62	088/23	0.56	第一期	早白垩世晚期
MFS-16	寒武纪	6	048/81	251/08	161/03	0.50	第二期	晚白垩世
MFS-37	志留纪	8	0.19/68	256/11	164/18	0.50	第二期	晚白垩世
MFS-03	成冰纪	7	0.61/24	221/65	328/08	0.50	第三期	古近纪中期
MFS-07	拉伸纪	9	0.85/15	193/52	344/35	0.49	第三期	古近纪中期
MFS-10	成冰纪	9	224/10	345/71	131/16	0.42	第三期	古近纪中期
MFS-11	成冰纪	5	216/19	350/65	120/17	0.50	第三期	古近纪中期
MFS-17	成冰纪	5	259/02	169/00	085/88	0.50	第三期	古近纪中期
MFS-27	埃迪卡拉纪	4	158/83	303/06	034/04	0.52	第四期	古近纪晚期
MFS-31	寒武纪	5	272/42	128/42	020/20	0.50	第四期	古近纪晚期
MFS-32	寒武纪	5	205/70	118/00	029/20	0.50	第四期	古近纪晚期

第四期为 NE-SW 向伸展，其最小主应力轴近水平，呈 NE-SW 走向，而中间主应力轴近竖直(图 7i ~ k)。这期伸展导致区域形成 NW-SE 向正断层，并使近 NE 向断层发生构造活化。

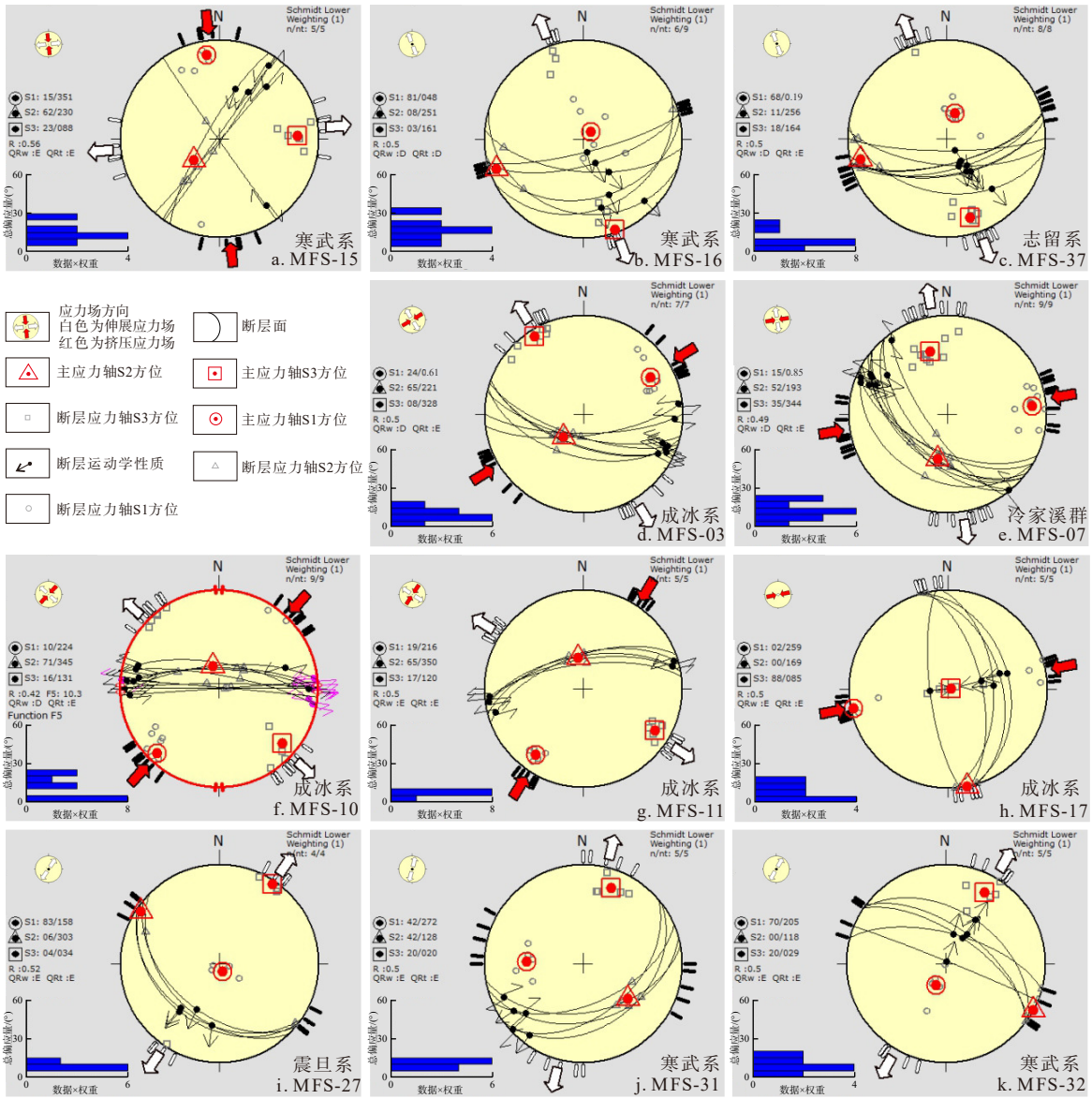
4　解释与讨论

4.1　变形序列及其动力学

E-W 走向江南断裂保存了 3 期构造活动的记录，从早至晚分别为断层上盘由 S 向 N 的逆冲、断层上盘由 NW 向 SE 的斜滑和 E-W 走向左行走滑，其反演的构造应力场分别为 N-S 向挤压、NW-SE 向伸展应力场和走滑应力场(最大主应力呈 NE-SW 向)。NE 走向长坪断裂也保存了 3 期构造活动的记录，从早至晚分别为 NE 向左行走滑、NE 向正断和 NE 向右行走滑，其反演的构造应力场分别为 N-S 向挤压、NW-SE 向伸展和 NE-SW 挤压。

在江南断裂中可见 NE 向左行走滑断层被近 E-W 向左行走滑断层截切，指示第一期走滑应力场分别为 N-S 向挤压、NW-SE 向伸展和 NE-SW 向伸展。近 E-W 向断层面上还可见左行走滑擦痕叠加在正断擦痕之上，指示第一期 N-S 向挤压(图 7a)形成时代早于第三期 NE-SW 向挤压(图 7d ~ h)。在长坪断裂中可见 NE 向断层上左行走滑擦痕被正断擦痕所叠加，指示第二期 NW-SE 向伸展(图 7b, c)早于第三期 N-S 挤压(图 7d ~ h)。在长坪断裂中可见 NE 向断层上左行走滑擦痕被正断擦痕所叠加，指示第一期 N-S 向挤压(图 7a)早于第二期 NW-SE 向伸展(图 7b, c)。

NW-SE 走向褶皱仅发育在拉伸系冷家溪群之中，且被成冰系角度不整合覆盖，指示其形成于晋宁期造山运动。根据角度不整合上、下地层的年代学(860 ~ 820 Ma 和 810 ~ 750 Ma)和新元古代花岗岩的侵位时代(840 ~ 820 Ma)，晋宁期造山运动形成于



a. 第一期走滑应力场, N-S 向水平的最大主应力, E-W 向水平的最小主应力; b, c. 第二期 NW-SE 向伸展应力场, NW-SE 向水平的最小主应力, 中间主应力直立; d, e, f, g, h. 第三期走滑应力场, NE-SW 向水平的最大主应力, NW-SE 向水平的最小主应力; i, j, k. 第四期 NE-SW 向伸展应力场, NE-SE 向水平的最小主应力, 中间主应力直立; Schmidt Lower. 施密特网下半球投影; Weighting. 权重; *n*. 数据个数; S1. 最大主应力轴方位; S2. 中间主应力轴方位; S3. 最小主应力轴方位; R. 应力比; Function. 函数; QRw. WSM(世界地应力图)定义的质量等级; QRt. TENSOR 程序中定义的质量等级

图 7　幕阜山岩体北缘鄂南地区构造应力场反演

Fig. 7　Paleostress inversions in the southern Hubei Province, northern margin of the Mufushan pluton

820 ~ 810 Ma[32, 38-40]。NE-SW 走向褶皱发育在成冰系至志留系和泥盆系至下三叠统之中, 两者呈平行不整合接触且被上三叠统至侏罗系角度不整合覆盖, 指示其形成于三叠纪印支造山运动[41-42]。新元古代和三叠纪褶皱在区域上呈近 E-W 向展布[43-45], 而研究区新元古代和三叠纪褶皱的走向分别呈 NW-SE 向和 NE-SW 向, 是被中侏罗世燕山运动改造的结果[42, 45]。

近 E-W 走向江南断裂控制着拉伸系冷家溪群与成冰系莲沱组和南沱组的展布, 指示其形成于新元古代江南造山作用[21]。江南断裂由南向北的逆冲是 N-S 走向挤压导致冷家溪群逆冲于莲沱组和南沱组之上的产物。根据研究区成冰系至志留系和泥盆系至下三叠统呈平行不整合接触, 且华南板块印支造山运动是 N-S 向挤压作用的结果[41, 42-45], 认为江南断裂由南向北的逆冲作用形成于三叠纪印支造山运动。

NE 向左行走滑断层斜切了近 E-W 走向晋宁期褶皱和 NE-SW 走向印支期褶皱, 说明其形成于三叠纪印支造山运动之后。NE 走向长坪断裂发育左行

走滑和正断作用，其控制了晚白垩世至古近纪崇阳盆地的发育，指示 NE 向左行走滑断层形成于晚三叠世与早白垩世之间。区域上，NE-SW 向左行走滑断层形成于中晚侏罗世或早白垩世晚期[46-50]。由于 NE-SW 走向长坪断裂左行走滑剪切反演的构造应力场是早白垩世晚期近 N-S 向的水平最大主应力而不是中侏罗世近 E-W 向的水平最大主应力[48-49, 51-52]，认为长坪断裂沿 NE 方向的左行走滑形成于早白垩世晚期，与古太平洋板块向西的俯冲有关。

长坪断裂沿 NE 走向的正断作用控制了晚白垩世至古近纪崇阳盆地的发育并叠加在 NE 走向左行走滑擦痕之上，指示其形成于晚白垩世，与区域上晚白垩世 NW-SE 走向伸展构造应力场一致[48-49, 51-53]，是古太平洋板块后撤的产物。

江南断裂中近 E-W 走向左行走滑擦痕叠加在晚白垩世 NW-SE 走向伸展应力场中形成的向 SE 倾伏的擦痕之上，指示其形成时代为新生代。幕阜山岩体的磷灰石 FT 年龄、锆石 U-Th-He 年龄和磷灰石 U-Th-He 年龄分别为 76 ~ 27 Ma、106 ~ 74 Ma 和 49 ~ 35 Ma[54-55]，指示幕阜山岩体在晚白垩世至古近纪经历了 3 阶段构造演化（108 ~ 74 Ma，71 ~ 50 Ma 和 49 ~ 27 Ma），分别对应晚白垩世强烈的 NW-SE 走向伸展、古近纪早期 NE-SW 走向挤压和古近纪中期 NE-SW 走向伸展。因此，E-W 走向断层的左行走滑断层形成于古近纪早期，而 NW-SE 走向正断层形成于古近纪中–晚期，分别与新生代印度–亚洲板块碰撞的远程效应和后期应力释放有关[56-57]。

4.2 构造控矿作用

晚侏罗世至早白垩世（155 ~ 130 M）幕阜山岩体及其周缘发育岩浆–热液成矿系统，形成伟晶岩型 Li-Be-Cs-Nb-Ta 等稀有金属矿床和热液型 Pb-Zn-Cu-Au-Sb 等有色金属矿床。矿床年代学表明幕阜山地区伟晶岩型 Li-Be-Cs-Nb-Ta 等稀有金属矿床形成于 140 ~ 125 Ma[8, 11, 14, 16]，热液型 Pb-Zn-Cu-Au-Sb 等有色金属矿床主要形成于 144 ~ 120 Ma[5, 13-15]，二者的成矿时代基本一致。同位素示踪研究指示其成矿流体主要是来源于幕阜山岩体[12, 16, 17, 58-59]。

成矿流体运移的主要通道是断裂[59]、节理和岩石孔隙。在幕阜山岩体北缘的鄂南地区，锂矿床、金矿床、锑矿床和铅锌矿床等主要发育在不同走向的断裂之中[2, 15-16]，指示断裂是主要的成矿流体通道[60-62]。其中 NE-SW 走向断裂控制着研究区矿床的展布（图 1），是主要的控矿构造。

晚侏罗世至早白垩世（155 ~ 130 Ma），华南板块中部处于强烈的弧后伸展构造环境[63-65]，在研究区发育了早白垩世花岗质岩浆活动，形成幕阜山岩体。强烈的 NW-SE 向伸展活动[51, 53, 66] 导致中侏罗世 NE 走向左行走滑断层或逆断层构造活化为 NE 走向正断层，成为岩浆流体的运移通道[67]。而与 NE 走向正断层近平行的次级断裂或相交的其他方位断裂为岩浆热液提供了存储空间，在岩浆演化的后期形成 NE-SW，E-W 和 NW-SE 等不同走向的早白垩世伟晶岩脉[8, 10, 68]。在 NE 走向主干断裂附近的次级近平行断裂或与主干断裂交汇的其他方向断裂，由于含矿热液供给充足，空间封闭且不再运移，其存留时间较长，易与围岩发生反应，进而形成伟晶岩型 Li-Be-Cs-Nb-Ta 稀有金属矿床和热液型 Pb-Zn-Cu-Au-Sb 有色金属矿床。

5 结论

（1）构造解析表明 E-W 向江南断裂在中生代经历了印支期由 S 向 N 的逆冲作用、早白垩世晚期断层上盘由 NW 向 SE 的斜滑作用和古近纪早期左行走滑剪切；而 NE-SW 向长坪断裂形成于中侏罗世燕山运动，保存了早白垩世晚期左行走滑、晚白垩世正断和古近纪晚期右行走滑 3 期构造活动。

（2）古应力场反演表明幕阜山岩体北缘在晚白垩世至古近纪经历了 4 期构造作用，分别为早白垩世晚期走滑应力场、晚白垩世 NW-SE 走向伸展应力场、古近纪中期走滑应力场和古近纪晚期 NE-SW 走向伸展应力场。

（3）NE-SW 走向断裂是幕阜山岩体北缘鄂南地区的主要控矿构造，其次级近平行断裂或与 NE-SW 走向断裂交汇的其他方向断裂在早白垩世主成矿期 NW-SE 向伸展作用下是热液矿床形成的有利部位。

所有作者声明不存在利益冲突。

The authors declare that no competing interests exist.

参考文献：

[1] 李鹏，李建康，裴荣富，等. 幕阜山复式花岗岩体多期次演化与白垩纪稀有金属成矿高峰：年代学依据 [J]. 地球科学，2017，42(10)：1684-1696.
LI P, LI J K, PEI R F, et al. Multistage magmatic evolution and Cretaceous peak metallogenic epochs of Mufushan composite granite mass: Constrains from geochronological evidence[J]. Earth Science, 2017, 42(10): 1684-1696. (in Chinese with English abstract)

[2] 郭唯明，王登红，李鹏，等. Sb-Li 组合：罕见的矿化组合及锂的赋存状态 [J]. 地质学报，2019，93(6)：1296-1308.

GUO W M, WANG D H, LI P, et al. Sb-Li assemblages: Rare assemblages of mineralization and the occurrence of lithium[J]. Acta Geologica Sinica, 2019, 93(6): 1296-1308. (in Chinese with English abstract)

[3] 尹近, 吴金昊, 李源, 等. 湖北赤壁金银山锂矿赋存状态及矿床成因 [J]. 地质论评, 2024, 70(4): 1558-1570.
YIN J, WU J H, LI Y, et al. The occurrence status and genesis of the Jinyinshan lithium deposit in Chibi, Hubei[J]. Geological Review, 2024, 70(4): 1558-1570. (in Chinese with English abstract)

[4] 祝明明, 邹建林, 王闯, 等. 幕阜山地区断峰山铌钽矿的矿物学、年代学和赋存状态 [J]. 地质科技通报, 2021, 40(6): 55-69.
ZHU M M, ZOU J L, WANG C, et al. Mineralogy, geochronology and occurrence state of the Duanfengshan Nb-Ta deposit in Mufushan area[J]. Bulletin of Geological Science and Technology, 2021, 40(6): 55-69. (in Chinese with English abstract)

[5] XU D R, YU D S, WANG Z L, et al. Zircon U-Pb and muscovite $^{40}Ar/^{39}Ar$ dating of Pb-Zn-(Cu) polymetallic deposits in northeastern Hunan Province, Jiangnan Orogen: Evidence for large-scale mineralization in South China at Ca. 150-120 Ma[J]. Ore Geology Reviews, 2022, 150: 105200.

[6] 李胜虎. 华南典型花岗岩型稀有金属矿床的成矿机制与找矿模式研究 [D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2015.
LI S H. Study on metallogenic mechanism and prospecting model of typical granite-type rare metal deposits in South China[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2015. (in Chinese with English abstract)

[7] 吴堑虹, 周厚祥, 刘飚, 等. 华南与花岗岩有关的稀有金属矿床和钨锡矿床的时空分布规律及其成因联系 [J]. 地质科技通报, 2023, 42(1): 78-88.
WU Q H, ZHOU H X, LIU B, et al. Spatio-temporal distribution of granite-related rare metal deposits and W-Sn deposits in South China and their genetic relationship[J]. Bulletin of Geological Science and Technology, 2023, 42(1): 78-88. (in Chinese with English abstract)

[8] LI P, LI J K, LIU X, et al. Geochronology and source of the rare-metal pegmatite in the Mufushan area of the Jiangnan Orogenic Belt: A case study of the giant Renli Nb-Ta deposit in Hunan, China[J]. Ore Geology Reviews, 2020, 116: 103237.

[9] 李乐广, 王连训, 朱煜翔, 等. 华南幕阜山北缘含稀有金属伟晶岩成矿时代及成矿过程 [J]. 地球科学, 2023, 48(9): 3221-3244.
LI L G, WANG L X, ZHU Y X, et al. Metallogenic age and process of rare metal-bearing pegmatites from the northern margin of Mufushan complex, South China[J]. Earth Science, 2023, 48(9): 3221-3244. (in Chinese with English abstract)

[10] CHEN J F, WEN C H, LV Z H, et al. Petrogenesis of Mesozoic Li-, Cs-, and Ta-rich (LCT) pegmatites from the Neoproterozoic Jiangnan Orogenic Belt, South China: An alternative origin model for the LCT type pegmatite[J]. Ore Geology Reviews, 2023, 153: 105276.

[11] MADAYIPU N, LI H, ALGEO T J, et al. Long-lived Nb-Ta mineralization in Mufushan, NE Hunan, South China: Geological, geochemical, and geochronological constraints[J]. Geoscience Frontiers, 2023, 14(1): 101491.

[12] MADAYIPU N, LI H, GHADERI M, et al. Contrasting Nb-Ta mineralization between the Mufushan and Lianyunshan granites, South China: Evidence from whole-rock and zircon geochemistry and geochronology[J]. Ore Geology Reviews, 2023, 158: 105487.

[13] XU D R, DENG T, CHI G X, et al. Gold mineralization in the Jiangnan Orogenic Belt of South China: Geological, geochemical and geochronological characteristics, ore deposit-type and geodynamic setting[J]. Ore Geology Reviews, 2017, 88: 565-618.

[14] ZHANG L, YANG L Q, GROVES D I, et al. An overview of timing and structural geometry of gold, gold-antimony and antimony mineralization in the Jiangnan Orogen, southern China[J]. Ore Geology Reviews, 2019, 115: 103173.

[15] SHAN L, LI Y J, JIANG J S, et al. Magmatism and mineralization of the Taolin Pb-Zn-Cu deposit in the Mufushan area, central Jiangnan Orogen (South China): Insightfvs from zircon U-Pb and sphalerite Rb-Sr geochronology, and H-O-S-Pb isotope geochemistry[J]. Ore Geology Reviews, 2023, 153: 105266.

[16] XIONG Y Q, JIANG S Y, WEN C H, et al. Granite–pegmatite connection and mineralization age of the giant Renli Ta Nb deposit in South China: Constraints from U-Th-Pb geochronology of coltan, monazite, and zircon[J]. Lithos, 2020, 358: 105422.

[17] YU D S, XU D R, ZHAO Z X, et al. Genesis of the Taolin Pb-Zn deposit in northeastern Hunan Province, South China: Constraints from trace elements and oxygen-sulfur-lead isotopes of the hydrothermal minerals[J]. Mineralium Deposita, 2020, 55(7): 1467-1488.

[18] 李建康, 李鹏, 黄志飚, 等. 湘北仁里伟晶岩型稀有金属矿田的地质特征及成矿机制概述 [J]. 地学前缘, 2023, 30(5): 1-25.
LI J K, LI P, HUANG Z B, et al. Geological features and formation mechanism of pegmatite-type rare-metal deposits in the Renli orefield, northern Hunan, China: An overview[J]. Earth Science Frontiers, 2023, 30(5): 1-25. (in Chinese with English abstract)

[19] ZHAO J H, ZHOU M F, YAN D P, et al. Reappraisal of the ages of Neoproterozoic strata in South China: No connection with the Grenvillian Orogeny[J]. Geology, 2011, 39(4): 299-302.

[20] XIN Y J, LI J H, DONG S W, et al. Neoproterozoic post-collisional extension of the central Jiangnan Orogen: Geochemical, geochronological, and Lu-Hf isotopic constraints from the Ca. 820-800 Ma magmatic rocks[J]. Precambrian Research, 2017, 294: 91-110.

[21] 杨志坚. 横贯中国东南部的一条古断裂带 [J]. 地质科学, 1987, 22(3): 221-230.
YANG Z J. A paleo-fault zone traversing southeastern China[J]. Chinese Journal of Geology, 1987, 22(3): 221-230. (in Chinese with English abstract)

[22] 牛志军, 宋芳, 何垚砚, 等. 中南地区南华纪地层序列及对重大地质事件的响应 [J]. 华南地质, 2023, 39(2): 173-185.
NIU Z J, SONG F, HE Y Y, et al. Nanhuan(cryogenian) stratigraphic sequence in central-south China and its response for major geological events[J]. South China Geology, 2023, 39(2): 173-185. (in Chinese with English abstract)

[23] 陈家驹, 徐先兵, 梁承华, 等. 湘东南中泥盆统石英砂砾岩物源分析及其大地构造意义 [J]. 地球科学, 2021, 46(10): 3421-3434.
CHEN J J, XU X B, LIANG C H, et al. Provenance analysis and

tectonic implications of Middle Devonian quartzose conglomerate and sandstone in southeastern Hunan Province, South China[J]. Earth Science, 2021, 46(10): 3421-3434. (in Chinese with English abstract)

[24] WANG L X, MA C Q, ZHANG C, et al. Genesis of leucogranite by prolonged fractional crystallization: A case study of the Mufushan complex, South China[J]. Lithos, 2014, 206: 147-163.

[25] JIN W, WAN L, TIAN Y, et al. Petrogenesis of Early Cretaceous granites in Mufushan complex, northeastern Hunan Province: Insights on Middle-Late Mesozoic tectonic evolution of eastern South China[J]. Lithos, 2023, 456: 107296.

[26] WAN L, JIN W, TIAN Y, et al. Petrogenesis of Late Jurassic Mufushan high-Mg diorites and Late Mesozoic tectonic evolution of the eastern South China Block[J]. Gondwana Research, 2023, 121: 118-146.

[27] 章泽军, 张雄华, 易顺华. 赣西北幕阜山—九岭山一带前震旦纪构造变形 [J]. 高校地质学报, 2003, 9(1): 81-88.
ZHANG Z J, ZHANG X H, YI S H. Intraplate tectonic deformation of the Precambrian in the Mufu and Jiuling Mountains area, north-west Jiangxi[J]. Geological Journal of China Universities, 2003, 9(1): 81-88. (in Chinese with English abstract)

[28] 翟文建, 齐小兵, 章泽军. 江南断裂构造属性及成生环境初探 [J]. 大地构造与成矿学, 2009, 33(3): 372-380.
ZHAI W J, QI X B, ZHANG Z J. A preliminary study of tectonic attribute and formation environment of Jiangnan fault[J]. Geotectonica et Metallogenia, 2009, 33(3): 372-380. (in Chinese with English abstract)

[29] 丁道桂, 郭彤楼, 刘运黎, 等. 对江南-雪峰带构造属性的讨论 [J]. 地质通报, 2007, 26(7): 801-809.
DING D G, GUO T L, LIU Y L, et al. Structural attribute of the Jiangnan-Xuefengshan belt, China: A discussion[J]. Geological Bulletin of China, 2007, 26(7): 801-809. (in Chinese with English abstract)

[30] 陈世悦, 李聪, 张鹏飞, 等. 江南—雪峰地区加里东期和印支期不整合分布规律 [J]. 中国地质, 2011, 38(5): 1212-1219.
CHEN S Y, LI C, ZHANG P F, et al. The unconformable distribution of Caledonian and Indosinian strata in Jiangnan-Xuefeng area[J]. Geology in China, 2011, 38(5): 1212-1219. (in Chinese with English abstract)

[31] 柏道远, 文春华, 黄建中, 等. 湘东北幕阜山地区中生代构造-岩浆特征及其对稀有金属伟晶岩的控制 [J]. 地质论评, 2023, 69(3): 855-880.
BAI D Y, WEN C H, HUANG J Z, et al. Mesozoic tectono-magmatic characteristics and their control on rare metal pegmatites in Mufushan area, northeastern Hunan[J]. Geological Review, 2023, 69(3): 855-880. (in Chinese with English abstract)

[32] LI Z H, ZHENG H, LI H, et al. Polyphase deformation-controlled giant Renli Nb-Ta deposit, South China: Constraints from systematic structural analysis[J]. Ore Geology Reviews, 2023, 153: 105286.

[33] HE C S, DONG S W, SANTOSH M, et al. Seismic evidence for a geosuture between the Yangtze and Cathaysia blocks, South China[J]. Scientific Reports, 2013, 3: 2200.

[34] GUO L H, GAO R, SHI L, et al. Crustal thickness and Poisson's ratios of South China revealed from joint inversion of receiver function and gravity data[J]. Earth and Planetary Science Letters, 2019, 510: 142-152.

[35] CHEN C X, Lü Q T, CHEN L, et al. Crustal thickness and composition in the South China Block: Constraints from earthquake receiver function[J]. Science China (Earth Sciences), 2022, 65(4): 698-713.

[36] ANGELIER J. Tectonic analysis of fault slip data sets[J]. Journal of Geophysical Research (Solid Earth), 1984, 89(B7): 5835-5848.

[37] DELVAUX D, SPERNER B. New aspects of tectonic stress inversion with reference to the TENSOR program[J]. Geological Society, London, Special Publications, 2003, 212(1): 75-100.

[38] YAO J L, CAWOOD P A, SHU L S, et al. Jiangnan Orogen, South China: A ~970-820 Ma Rodinia margin accretionary belt[J]. Earth-Science Reviews, 2019, 196: 102872.

[39] 徐先兵, 汤帅, 梁承华. 江南东段新元古代至中生代构造演化: 盆地物源分析和区域构造解析的制约 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2020.
XU X B, TANG S, LIANG C H. Tectonic evolution from Neoproterozoic to Mesozoic in eastern Jiangnan: Constraints of basin provenance analysis and regional tectonic analysis[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 2020. (in Chinese)

[40] SHU L S, YAO J L, WANG B, et al. Neoproterozoic plate tectonic process and Phanerozoic geodynamic evolution of the South China Block[J]. Earth-Science Reviews, 2021, 216: 103596.

[41] LI J H, DONG S W, ZHANG Y Q, et al. New insights into Phanerozoic tectonics of South China: Part 1, Polyphase deformation in the Jiuling and Lianyunshan domains of the central Jiangnan Orogen[J]. Journal of Geophysical Research (Solid Earth), 2016, 121(4): 3048-3080.

[42] XU X B. Late Triassic to Middle Jurassic tectonic evolution of the South China Block: Geodynamic transition from the Paleo-Tethys to the Paleo-Pacific regimes[J]. Earth-Science Reviews, 2023, 241: 104404.

[43] 徐先兵, 张岳桥, 贾东, 等. 华南早中生代大地构造过程 [J]. 中国地质, 2009, 36(3): 573-593.
XU X B, ZHANG Y Q, JIA D, et al. Early Mesozoic geotectonic processes in South China[J]. Geology in China, 2009, 36(3): 573-593. (in Chinese with English abstract)

[44] 徐先兵, 汤帅, 李源, 等. 江南造山带东段新元古代至早中生代多期造山作用特征 [J]. 中国地质, 2015, 42(1): 33-50.
XU X B, TANG S, LI Y, et al. Characteristics of Neoproterozoic-Early Mesozoic multiphase orogenic activities of eastern Jiangnan Orogen[J]. Geology in China, 2015, 42(1): 33-50. (in Chinese with English abstract)

[45] 张岳桥, 徐先兵, 贾东, 等. 华南早中生代从印支期碰撞构造体系向燕山期俯冲构造体系转换的形变记录 [J]. 地学前缘, 2009, 16(1): 234-247.
ZHANG Y Q, XU X B, JIA D, et al. Deformation record of the change from Indosinian collision-related tectonic system to Yanshanian subduction-related tectonic system in South China during the Early Mesozoic[J]. Earth Science Frontiers, 2009, 16(1): 234-

247.（in Chinese with English abstract）

[46] WANG Z H, LU H F. Ductile deformation and $^{40}Ar/^{39}Ar$ dating of the Changle-Nanao ductile shear zone, southeastern China[J]. Journal of Structural Geology, 2000, 22(5): 561-570.

[47] ZHU G, WANG Y S, LIU G S, et al. $^{40}Ar/^{39}Ar$ dating of strike-slip motion on the Tan-Lu fault zone, East China[J]. Journal of Structural Geology, 2005, 27(8): 1379-1398.

[48] XU X B, TANG S, LIN S F. Paleostress inversion of fault-slip data from the Jurassic to Cretaceous Huangshan Basin and implications for the tectonic evolution of southeastern China[J]. Journal of Geodynamics, 2016, 98: 31-52.

[49] XU X B, LIANG C H, XU Y D. Kinematic analysis of fault-slip data in the Nanling Tectonic Belt and Cretaceous to Paleogene tectonic evolution of the Central South China Block[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2021, 221: 104951.

[50] QIU E K, ZHANG Y Q, LARSON K P, et al. Dating strike-slip ductile shear through combined zircon-, titanite- and apatite U-Pb geochronology along the southern Tan-Lu fault zone, East China[J]. Tectonics, 2023, 42(4): e2022TC007734.

[51] LI J H, ZHANG Y Q, DONG S W, et al. Cretaceous tectonic evolution of South China: A preliminary synthesis[J]. Earth-Science Reviews, 2014, 134: 98-136.

[52] LI J H, CAWOOD P A, RATSCHBACHER L, et al. Building Southeast China in the Late Mesozoic: Insights from alternating episodes of shortening and extension along the Lianhuashan fault zone[J]. Earth-Science Reviews, 2020, 201: 103056.

[53] LI J H, DONG S W, CAWOOD P A, et al. Cretaceous long-distance lithospheric extension and surface response in South China[J]. Earth-Science Reviews, 2023, 243: 104496.

[54] 石红才, 施小斌, 杨小秋, 等. 江南隆起带幕阜山岩体新生代剥蚀冷却的低温热年代学证据 [J]. 地球物理学报, 2013, 56(6): 1945-1957.
SHI H C, SHI X B, YANG X Q, et al. The exhumation process of Mufushan granite in Jiangnan uplift since Cenozoic: Evidence from low temperature thermochronology[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2013, 56(6): 1945-1957.（in Chinese with English abstract）

[55] SHEN C B, HU D, MIN K, et al. Post-orogenic tectonic evolution of the Jiangnan-Xuefeng Orogenic Belt: Insights from multiple geochronometric dating of the Mufushan massif, South China[J]. Journal of Earth Science, 2020, 31(5): 905-918.

[56] YIN A. Cenozoic tectonic evolution of Asia: A preliminary synthesis[J]. Tectonophysics, 2010, 488(1/2/3/4): 293-325.

[57] XIA Y, XU X B, CHEN J J, et al. Polyphase deformation and geochronology of Late Triassic volcano-sedimentary rocks in the Yidun Terrane, eastern Qinghai-Tibet Plateau, and implications for tectonic evolution of the Paleo- and NeoTethys[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2023, 242: 105492.

[58] YU D S, XU D R, WANG Z L, et al. Trace element geochemistry and O-S-Pb-He-Ar isotopic systematics of the Lishan Pb-Zn-Cu hydrothermal deposit, NE Hunan, South China[J]. Ore Geology Reviews, 2021, 133: 104091.

[59] LI P, LI J K, CHEN Z Y, et al. Compositional evolution of the muscovite of Renli pegmatite-type rare-metal deposit, northeast Hunan, China: Implications for its petrogenesis and mineralization potential[J]. Ore Geology Reviews, 2021, 138: 104380.

[60] 姜忠正, 唐大卿, 沙旭光, 等. 塔里木盆地塔中隆起中北部地区断裂构造特征及演化 [J]. 地质科技通报, 2024, 43(3): 120-132.
JIANG Z Z, TANG D Q, SHA X G, et al. Structure and evolution of faults in central and northern parts of Tazhong Uplift, Tarim Basin[J]. Bulletin of Geological Science and Technology, 2024, 43(3): 120-132.（in Chinese with English abstract）

[61] 张浩, 李伟, 李丽梅, 等. 郯庐断裂带江苏段山左口-泗洪断裂活动特征变化及成因分析 [J]. 煤田地质与勘探, 2023, 51(12): 29-37.
ZHANG H, LI W, LI L M, et al. Activity variations of the Shanzuokou-Sihong fault within the Jiangsu segment of the Tancheng-Lujiang fault zone and their origins[J]. Coal Geology & Exploration, 2023, 51(12): 29-37.（in Chinese with English abstract）

[62] 蒋佳兵, 陈如鹤, 李小刚, 等. 火山岩内幕型储层特征与主控因素: 以准噶尔盆地滴南凸起滴水泉西断裂下盘为例 [J]. 中国石油勘探, 2023, 28(2): 119-132.
JIANG J B, CHEN R H, LI X G, et al. Characteristics and main controlling factors of inner volcanic reservoir: A case study of the footwall of West Dishuiquan Fault in Dinan Bulge, Junggar Basin[J]. China Petroleum Exploration, 2023, 28(2): 119-132.（in Chinese with English abstract）

[63] 徐先兵, 邓飞, 王墩, 等. 基岩区断层泥的物质组成、定年方法与地震断层弱化机制研究进展 [J]. 地质科技通报, 2022, 41(5): 122-131.
XU X B, DENG F, WANG D, et al. Advances in composition and dating methods of fault gouge and weakening mechanisms of earthquake faults in bedrock area[J]. Bulletin of Geological Science and Technology, 2022, 41(5): 122-131.（in Chinese with English abstract）

[64] ZHOU X M, LI W X. Origin of Late Mesozoic igneous rocks in southeastern China: Implications for lithosphere subduction and underplating of mafic magmas[J]. Tectonophysics, 2000, 326(3/4): 269-287.

[65] LI Z X, LI X H. Formation of the 1300-km-wide intracontinental orogen and postorogenic magmatic province in Mesozoic South China: A flat-slab subduction model[J]. Geology, 2007, 35(2): 179.

[66] XU X B, ZHANG Y Q, JIA D, et al. U-Pb dating of volcanic rocks and granites along the Wuyishan Belt: Constraints on tuning of late Mesozoic tectonic events in southeast China[J]. Acta Geologica Sinica（English Edition）, 2011, 85(1): 130-144.

[67] MAO J W, LIU P, GOLDFARB R J, et al. Cretaceous large-scale metal accumulation triggered by post-subductional large-scale extension, East Asia[J]. Ore Geology Reviews, 2021, 136: 104270.

[68] 刘俊民, 张关龙, 赵乐强, 等. 胜利探区油气共/伴生资源综合利用前景 [J]. 油气地质与采收率, 2024, 31(4): 207-216.
LIU J M, ZHANG G L, ZHAO L Q, et al. Prospects for comprehensive utilization of symbiotic/associated oil and gas resources in exploration area of Shengli oilfield[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2024, 31(4): 207-216.（in Chinese with English abstract）

Summary for “幕阜山岩体北缘鄂南地区构造特征与构造控矿作用”

Structural characteristics and tectonic controls on mineralization in the northern margin of the Mufushan pluton, southern Hubei region

LIN Zihan[1]，XIA Yuan[1]，ZHANG Hangchuan[2]，XU Xianbing[1*]

1. School of Earth Sciences, China University of Geosciences (Wuhan), Wuhan 430074, China；
2. Fourth Geological Brigade, Hubei Provincial Geological Bureau, Xianning Hubei 437100, China

First author，E-mail：linzihan@cug.edu.cn

* Corresponding author， E-mail：xbxu2011@cug.edu.cn

Abstract：[**Objective**] An intensive Early Cretaceous magmatic-hydrothermal metallogenic system developed in the Mufushan area of the central Jingnan Orogen. This orogenic belt in the South China Block formed through the accretion and subsequent collision of the Yangtze and Cathaysia blocks during the early Neoproterozoic, resulting in the formation of rare metal deposits (Li-Be-Cs-Nb-Ta) and nonferrous metal deposits (Pb-Zn-Cu-Au-Sb). [**Methods**] This study investigates the structural control of polymetallic deposits in southern Hubei Province utilizing structural analysis, paleostress inversions of fault-slip data, and the spatial distribution of polymetallic ore deposits. [**Results**] Structural analysis revealed that the Jiangnan fault, striking E-W and originating in the Neoproterozoic, exhibits Triassic top-to-the-north thrusting, Late Cretaceous oblique normal faulting, and Paleogene left-lateral strike-slip motion. The NE-striking Changping fault, formed during the Middle Jurassic Yanshanian orogeny, shows evidence of late Early Cretaceous left-lateral strike-slip motion, late Cretaceous normal faulting, and late Paleogene right-lateral strike-slip motion. Paleostress inversions indicate that southern Hubei Province experienced a series of paleostress fields, including a strike-slip stress field (with maximum principal stress oriented N-S and minimum principal stress oriented N-S) during the late Early Cretaceous, an NW-SE extensional stress field during the late Cretaceous, another strike-slip stress field (with maximum principal stress oriented NE-SW and minimum principal stress oriented N-S) during the early Paleogene, and a NE-SW extensional stress field during the late Paleogene. [**Conclusion**] Based on the polymetallic deposits in the study area, we conclude that secondary faults subparallel to the primary NE-SW trending fault, along with NW-SE and E-W trending faults intersecting with the primary NE-SW fault, present substantial potential for polymetallic mineral exploration.

Key words: Mufushan pluton； structural deformation； paleostress field； structural ore-controlling of polymetallic deposit；Jiangnan Orogen；southernHubei Province

Received：2023-09-12；Revised：2024-03-20；Accepted：2024-03-28

doi: 10.19509/j.cnki.dzkq.tb20230525