

铜陵地区古应力场分析及构造演化

刘国厅

铜陵有色金属集团铜冠矿山建设股份有限公司, 安徽 铜陵 244000

[摘要] 铜陵地区是我国著名的矿集区, 前人研究表明其成矿受控于中生代中酸性侵入岩, 而这些岩浆岩又受控于区域构造。因此, 对铜陵地区古应力场进行深入分析研究, 利于揭示该地区构造应力演化及解释复杂构造特征。铜陵地区构造复杂, 是不同期次、不同构造活动叠加形成。因此, 分析不同地层记录的应力痕迹及其变化是恢复该地区构造演化的重要手段。文章通过野外大量采集断层、擦痕、节理等数据, 利用共轭断层、共轭节理分析主应力轴的方法, 得出铜陵地区自志留系地层至新近系地层的应力场数据。印支期的应力场为 $220^{\circ} \rightarrow 40^{\circ}$, 形成了近 EW 向的铜陵褶皱群主体, 同时形成了层间滑脱和顺层断裂构造, 为后期的岩浆活动提供了构造空间; 燕山期的应力场为 $170^{\circ} \rightarrow 350^{\circ}$, 伴随着郑庐断裂带 NNE 向平移运动, 使得铜陵地区原近 EW 向的构造线产生逆时针转动被改造为 NE 向褶皱群, 并使褶皱群产生近 EW 向的摆尾, 同时形成近东西向宽缓褶皱; 始新世末期的应力场方向为 $110^{\circ} \rightarrow 290^{\circ}$, 说明在白垩纪以后中国东部开始由区域性的多向挤压构造转换为伸展构造, 在太平洋板块近 E-W 向的挤压作用下, 形成枢纽方向为 10° 的第三期褶皱。说明利用大量的断层、擦痕、节理等数据, 可以揭示铜陵地区构造应力场的变化, 从而得出铜陵地区的构造演化, 进而为控岩、控矿构造与成矿的关系以及深部找矿提供构造的基础数据。

[关键词] 铜陵地区; 共轭断层; 共轭节理; 应力场; 构造演化

DOI: 10.33142/ec.v2i7.503

中图分类号:

文献标识码: A

Analysis of Paleo-stress Field and Tectonic Evolution in Tongling Area

LIU Guoting

Tongling Nonferrous Metals Group Copper Crown Mine Construction Co., Ltd., Anhui Tongling, 244000 China

Abstract: Tongling area is a famous mineral concentration area in China, and previous studies have shown that its mineralization is controlled by middle-acid intrusive rocks in the Mesozoic era, and these magmatic rocks are controlled by regional structures. Therefore, the ancient stress field in Tongling area is deeply analyzed and studied, which is helpful to reveal the evolution of tectonic stress and interpret the complex structural characteristics in this area. The structure of Tongling area is complex, which is formed by different stages and superimposed tectonic activities. Therefore, the analysis of stress traces and their changes recorded by different strata is an important means to restore the tectonic evolution in this area. In this paper, a large number of data such as faults, scratches and joints are collected in the field, and the principal stress is analyzed by using conjugated faults and conjugated joints. The data of the stress field from Silurian formation to Neogene formation in Tongling area is obtained. The stress field of Indosinian period is $220^{\circ} \rightarrow 40^{\circ}$, forming the main body of Tongling fold group near EW direction, and forming the structure of interlayer slip and bedding fracture, which provides structural space for magmatic activities in later stage. The stress field in Yanshan period is $170^{\circ} \rightarrow 350^{\circ}$. Along with the NNE translational movement in Tan-Lu fault zone, the tectonic line in the original EW direction in Tongling area is transformed into the NE fold group in counterclockwise direction, and the fold group is formed near EW direction and at the same time, the close east-west wide and gentle folds are formed. Stress at the end of the Eocene. The field direction is $110^{\circ} \leq 290^{\circ}$, indicating that after the Cretaceous, the eastern part of China began to change from a regional multidirectional compression structure to an extensional structure, and the third stage fold with a hub direction of 10° was formed under the compression of the Pacific plate near E \leq W direction. It is shown that the variation of tectonic stress field in Tongling area can be revealed by using a large number of fault, scratch, joint and other data, and the tectonic evolution in Tongling area can be obtained, and then the basic structural data can be provided for rock control, the relationship between ore-controlling structure and mineralization, as well as for deep prospecting.

Keywords: Tongling area; Conjugate fault; Conjugate joints; Stress field; Tectonic evolution

引言

铜陵地区位于长江中下游构造转换结内^[1], 区内构造格局复杂, 由多期不同方向、不同性质的构造变形叠加而成。前人对该地区的构造研究取得了长足的进展^[2-7], 但大多为构造对成矿作用的影响, 而关于构造演化方面涉及较少, 且争议较大。一些学者认为铜陵地区古构造应力场主要有三期, 按其先后顺序分别为 NE 向、EW 向、NNE 向古构造应力场^[4]; 而另一些学者认为该区古构造应力场有另外三期, 按其先后顺序分别为 NE 向、近 SN 向、近 EW 向古构造应力场^[1,8]。除此以外, 尚有其他观点, 在此不一一赘述。总之, 对于铜陵地区复杂的构造演化还没有达成共识。本文以铜陵地区

发育的古生代-新生代地层为研究对象,通过详细的野外观察、构造变形测量和相应的构造解析,反演古构造应力场,以此揭示铜陵地区古生代至新生代的应力场变化和构造演化规律,进而为研究铜陵地区控岩、控矿构造与成矿的关系以及深部找矿提供构造的基础数据。

1 区域地质概况

铜陵地区位于下扬子拗陷带的中部,南北分别以近 EW 向隐伏基底断裂带为界,与贵池、繁昌两个 NE 向“S”形褶皱带相隔;东西两侧分别以 NE 向大断裂带为界,与宣(城)南(陵)拗陷、下扬子拗陷等中生代沉积盆地为邻^[2,3]。在地层区划上属于扬子地层区的下扬子分区。本区的褶皱基底在地表没有出露,只出露了志留系-下三叠统的沉积盖层。沉积盖层主要以海相碳酸盐岩和碎屑岩为主,除缺失下、中泥盆统外,自志留系至第四系层序齐全,发育较为完整;志留系到三叠系之间的地层均为整合接触或假整合接触关系。

岩浆岩主要是燕山期强烈活动的产物,侵入岩岩石类型主要包括辉石二长闪长岩、石英二长闪长岩、花岗闪长岩。地表出露的岩体大多数呈串珠状分布于 EW 向展布的铜陵-南陵深断裂控制的岩浆成矿带之上^[1~3]。区内复杂的构造格局由多期不同方向、不同性质的构造变形相互叠加而成,主要格架为 NE 向“S”形隔挡式褶皱带以及叠加其上的近 SN 向小型褶皱。多期次断层发育,主要以 NE 向、NW 向、近 SN 向为主;节理构造发育较为复杂,主要有 NE 向、EW 向、NNE 向、SN 向和 NW 向五组,相互叠加^[2,3],构成了区内复杂的构造变形格局(图 1)。

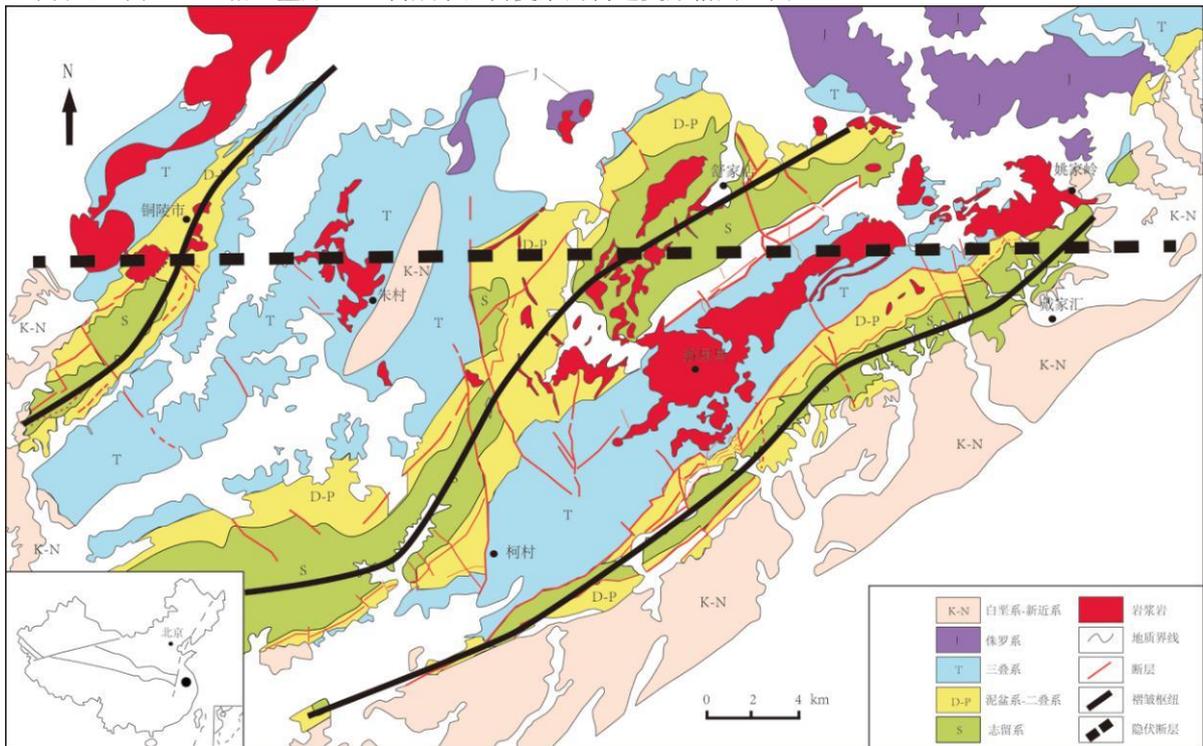


图 1 构造变形格局图

2 铜陵地区古应力恢复方法及数据采集

各期应力场的形成时期可以通过不同时期构造变形的相互关系以及它们的先后次序,再结合地层角度不整合、生物地层年代、同位素年代的对比等方法来确定^[10~13]。最大主压应力方向(σ_1)可以用缝合线构造、共轭韧性剪切带、共轭剪节理、雁列张节理系、追踪张节理系、纵弯褶皱、沉积等厚线长轴方向、同生断层走向等构造形迹来确定^[10]。

2.1 古应力恢复的方法

铜陵地区构造活动复杂,且具有多期次性。本文以地层角度不整合为基础,结合前人研究^[14~20],将该地区分为三个构造层,即志留系-中三叠统、上三叠统-侏罗系、白垩系-新近系。该区主要以褶皱、断层、节理等脆性变形为主,适合使用共轭断层、共轭节理分析主应力的方法和褶皱应力分析方法进行古构造应力恢复,以此得出该地层的应力状态^[21~23]。

本区出露的地层志留系-三叠系均为整合接触或假整合接触关系,可作为同一个构造层看待,该构造层记录着整个

铜陵地区的构造形迹以及应力场变化特征，同时该构造层的地层出露情况较好，灰岩和砂岩能完整保存断层活动痕迹以及节理特征，故将其作为应力场数据的重点采集区（图2）。

侏罗系和白垩系大部分被剥蚀，只有少数地方出露，未能采集到满意数据。而邻区繁昌盆地则发育有良好的侏罗系和白垩系，且出露较好，其与本区在大地构造上又属同一构造区域，也即两个地区有着相同的构造应力。因此，将繁昌盆地作为铜陵地区侏罗系、白垩系数据补充采集地，来补充铜陵地区的应力数据（表1，表2）。

铜陵地区发育大量的断层和节理，它们是不同的构造活动的结果。对铜陵地区及邻区不同层位的断层和节理数据的大量采集，获取了断层、节理产状以及在断面上的擦痕或矿物生长线理的产状，并分析配套。利用共轭节理分析主应力轴的方法和断层擦痕求应力的方法

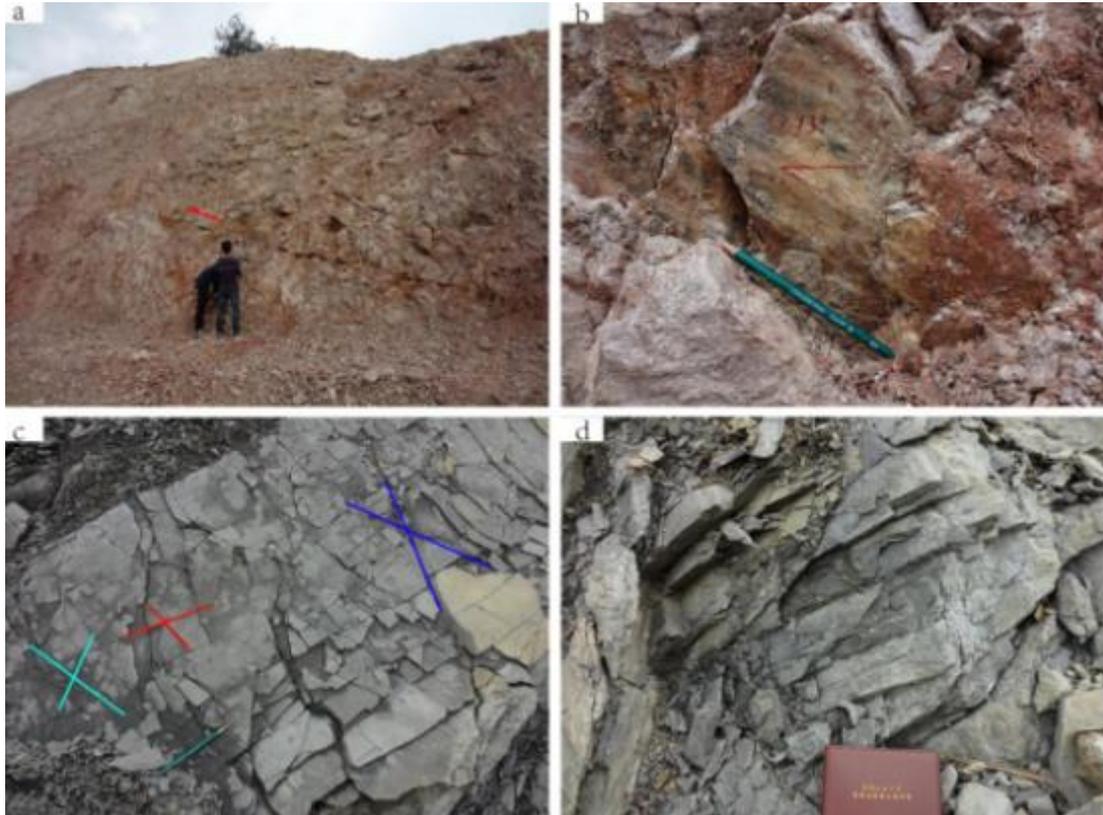


图2 野外应力场数据采集及其分期配套示意图

断层编号	经度	纬度	断层产状	性质	所在岩层	擦痕
TL002	118.0266	30.8588	352° ∠58°	逆断层	花岗闪长岩	358° ∠46°、351° ∠49°
TL005	118.0569	30.8983	185° ∠70°	右旋	二叠系	41° ∠37°、45° ∠31°、46° ∠36°
TL008	117.8789	30.9302	198° ∠88°	左旋	三叠系南陵湖组	293° ∠26°、386° ∠24°、294° ∠23°
TL009	117.8894	30.8491	30° ∠35°	逆断层	石炭系和龙山组	98° ∠5°、98° ∠8°、105° ∠7°
TL012	118.0722	30.5734	54° ∠72°	逆断层	安山岩	122° ∠39°、124° ∠36°
TL014	118.0216	30.8644	285° ∠83°	右旋	砂卡岩与灰岩接触带	2° ∠19°、7° ∠23°、6° ∠15°
TL015	118.0138	30.8852	48° ∠89°	逆断层	泥盆系五通组	314° ∠76°、320° ∠74°
TL018	117.9066	30.8636	88° ∠90°	右旋	石炭系和龙山组	358° ∠6°、359° ∠10°
TZ006	118.0138	30.8858	48° ∠89°	逆断层	泥盆系五通组	315° ∠79°、309° ∠82°、321° ∠80°
TZ009	117.8894	30.8497	30° ∠35°	逆断层	石炭系和龙山组	105° ∠7°、98° ∠8°、98° ∠5°
TZ010	117.8432	30.9255	117° ∠51°	逆断层	二叠系龙潭组	88° ∠48°、85° ∠48°、86° ∠46°、84° ∠51°

表1 断层测量数据表

编号	经度	纬度	所在地层	岩层产状	共轭节理优势产状
TL001-1	118.0326	30.9597	三叠系统坑组	262° ∠52°	219° ∠66° 92° ∠67°
TL001-2	118.0326	30.9597	三叠系统坑组	262° ∠52°	152° ∠42° 22° ∠45°
TL001-3	118.0326	30.9597	三叠系统坑组	262° ∠52°	296° ∠74° 162° ∠49°
TL003	118.1156	30.9522	志留系茅山组	77° ∠64°	207° ∠47° 13° ∠66°
TN004	118.1091	30.9488	泥盆系五通组	356° ∠54°	243° ∠88° 290° ∠89°
TL006	118.1512	30.9517	黑云母安山岩		242° ∠82° 32° ∠56°
TD001-1	117.9388	30.8580	志留系坎头组	75° ∠66°	25° ∠68° 165° ∠75°
TD001-2	117.9388	30.8580	志留系坎头组	75° ∠66°	340° ∠57° 200° ∠34°
TD002	117.8580	30.8348	志留系黄龙组	45° ∠50°	30° ∠28° 219° ∠76°
TS007	118.2131	30.9789	白垩系流纹岩		321° ∠41° 50° ∠75°
TS009	118.2051	30.9712	白垩系流纹岩		177° ∠80° 227° ∠71°
YF001-1	118.1363	30.1123	白垩系流纹岩		37° ∠45° 70° ∠75°
YF001-2	118.1363	30.1123	白垩系流纹岩		115° ∠53° 280° ∠70°
YF001-3	118.1363	30.1123	白垩系流纹岩		25° ∠65° 235° ∠70°
YF002	118.1352	30.1121	柱状岩体		185° ∠44° 285° ∠55°
YF003	118.1385	30.1118	岩体		35° ∠78° 170° ∠34°

表2 节理测量数据表

借助于 Angelier 古应力场恢复软件和 Stereo32 赤平投影软件,生成各采集点的古应力场图,从而确定该点的应力状态^[24,25]。得出铜陵地区古生代至中生代地层的应力场数据,并结合该地区角度不整合面划分的三个构造层以及铜陵邻区构造应力场资料,恢复出了三期构造应力场。

- ①因 S-T₂ 地层之间接触关系均为假整合或整合接触,因此可以认为这一时期共处一个构造应力场。经过筛分和剥离得出 T₂ 之前地层中所记录的区域性应力方向为 220° → 40° (图 3 a)。
- ②在 T₃-J 地层中厘定出应力场方向为 170° → 350° (图 3b)。
- ③在 K-E 地层中获得应力场方向为 110° → 290° (图 3c),是中国东部白垩纪主要的应力场。

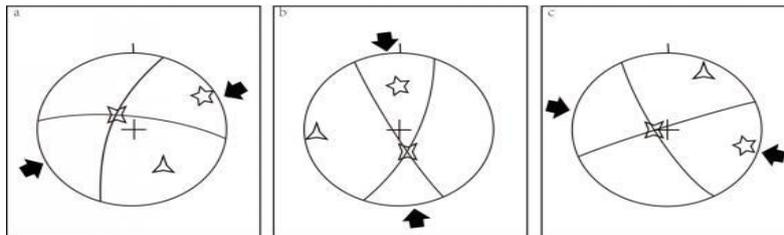


图3 铜陵地区构造应力场方向

2.2 铜陵地区古应力场特征

通过对铜陵地区断层、节理、褶皱等数据的分析,运用不同方法进行处理,得出铜陵地区不同点位的应力场图,根据各点所属的地层关系得出铜陵地区古生代-新生代的古应力分布图(图 4)。由此可见,铜陵地区的应力场特征如下:

①第一构造层位 S-T₂ 地层为同一个构造应力场所为,应力方向为 220° → 40°。结合区域背景分析认为:是在印支晚期古特提斯构造体制的作用下,扬子板块向 NE 方向运动,斜向俯冲于秦岭-大别造山带之下的结果。这一期近 220° 方向的挤压力形成了铜陵地区 NE 向的褶皱。

②第二构造层位 T₃-J 地层中的应力场方向为 170° → 350°,根据构造线方向和南北区域构造分析,该作用力应是古太平洋构造体制近南北向挤压作用下的远程效应。正是这期 170° 方向的构造应力,使铜陵地区的褶皱随着郟庐断裂带的左行走滑产生逆时针旋转,由近东西向逐渐转成 NE 向。并且在这期 170° 方向应力的持续作用下,使 NE 向褶皱的两端产生近 EW

向褶皱摆尾,使铜陵的褶皱形成“S”形,同时产生枢纽为近 EW 向的宽缓褶皱。使 NE 向背斜枢纽呈波状起伏,造成了近垂直方向的褶皱叠加(图 5),使原有的虚脱空间加大、破碎,与近 WE 和 NNE 向的断裂系统共同形成了控矿、容矿构造,为铜陵地区的成矿提供了构造基础。

③第三构造层位 K-E 地层中的应力场方向为 110° → 290°,说明在白垩纪以后中国东部开始由区域性的多向挤压构造转换为伸展构造,在太平洋板块近 E-W 向的挤压作用下,产生运动学极向为 110° 的构造应力。铜陵地区枢纽方向为 10° 的褶皱就是这期构造应力作用的结果。

由此可见,铜陵地区的应力场是随着区域构造背景变化而变化的,是区域构造应力场演化的一个缩影。

3 铜陵地区构造演化

前述各种方法得出的古应力场与区域构造背景所反映的应力作用特征是吻合的。它们先后作用于本区，形成了现今的构造格架。由于，每一期应力场对应于一期构造活动，结合各期构造应力场的先后顺序，恢复出铜陵地区古生代-新生代期间的主要构造活动有三期，它们的主要特征为：

3.1 印支运动

本区处于相对稳定的沉积时期，铜陵地区自 S 开始沉积，形成一套海相、陆相交互沉积建造。构造活动以升降运动为主，仅存在短暂的沉积间断，无明显的构造变形。

印支晚期在特提斯构造体制的作用下，扬子板块向 NE 方向 ($220^{\circ} \rightarrow 40^{\circ}$) 斜向俯冲在秦岭-大别造山带之下，东部地区（包括铜陵地区）开始闭合，并由东向西逐渐封闭。在 T_2 阶段扬子板块与秦岭-大别造山带全面闭合，铜陵地区和周边地区一起转为陆内构造演化阶段，形成一系列近 EW 向褶皱和相关断裂（图 6a），铜陵地区的主体褶皱就是在这期构造的作用下形成的。

3.2 燕山运动

在燕山早期，太平洋板块大幅度北移 ($170^{\circ} \rightarrow 350^{\circ}$)，中国东部发生以郯庐断裂带为代表的大规模的 NNE 向平移运动，致使局部应力场产生转变，使得铜陵地区原近 EW 向的构造线在逆时针转动下被改造为 NE 向，出现现今的 NE 向褶皱群（图 6b）。

燕山中期，秦岭-大别造山带南侧大规模的前陆断褶带加剧，并持续由北向南逆冲发展，致使 NE 向褶皱的两端产生近 EW 向的摆尾（图 6c），形成铜陵地区枢纽近 EW 向的第二期宽缓褶皱。

白垩纪是中国东部进入另一个重要的构造转换和过渡时期。早白垩世扬子板块北缘和大别造山带南缘、东端开始由区域性的多向挤压构造转换为区域性的伸展构造，中国东部出现特征性的大规模岩浆活动和火山喷发，铜陵地区此时也出现大规模的岩浆侵入活动，之前形成的断裂和褶皱为岩浆侵入活动提供了构造空间，造就了铜陵地区构造-岩浆岩带，形成了与侵入岩密切相关的著名的铜陵矿集区。

3.3 喜山运动

始新世末期中国东部受库拉板块向西的俯冲，形成近 E-W 向挤压应力 ($110^{\circ} \rightarrow 290^{\circ}$)（图 6d），在包含铜陵在内的长江中下游地区普遍存在近 S-N 向展布的、新的压性构造，铜陵地区 10° 方向的构造线就是这期构造活动的结果。

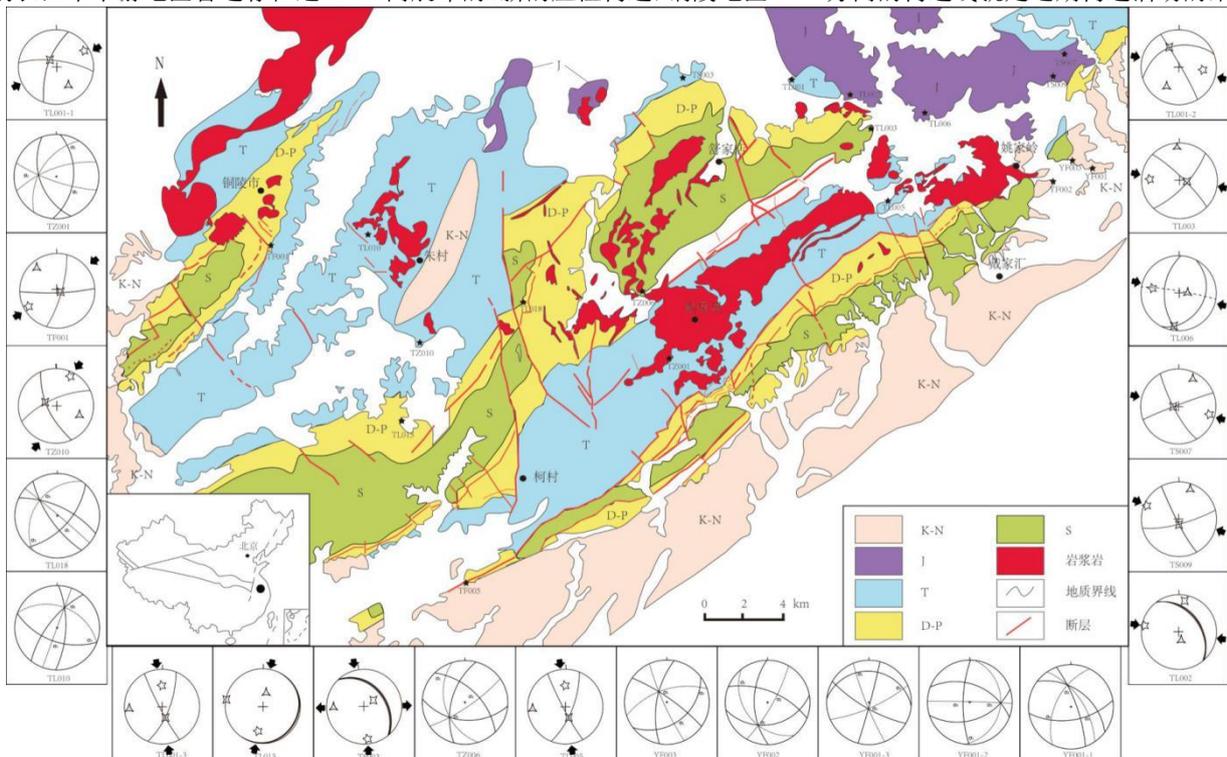


图 4 铜陵地区构造应力场



图5 主要褶皱叠加示意图

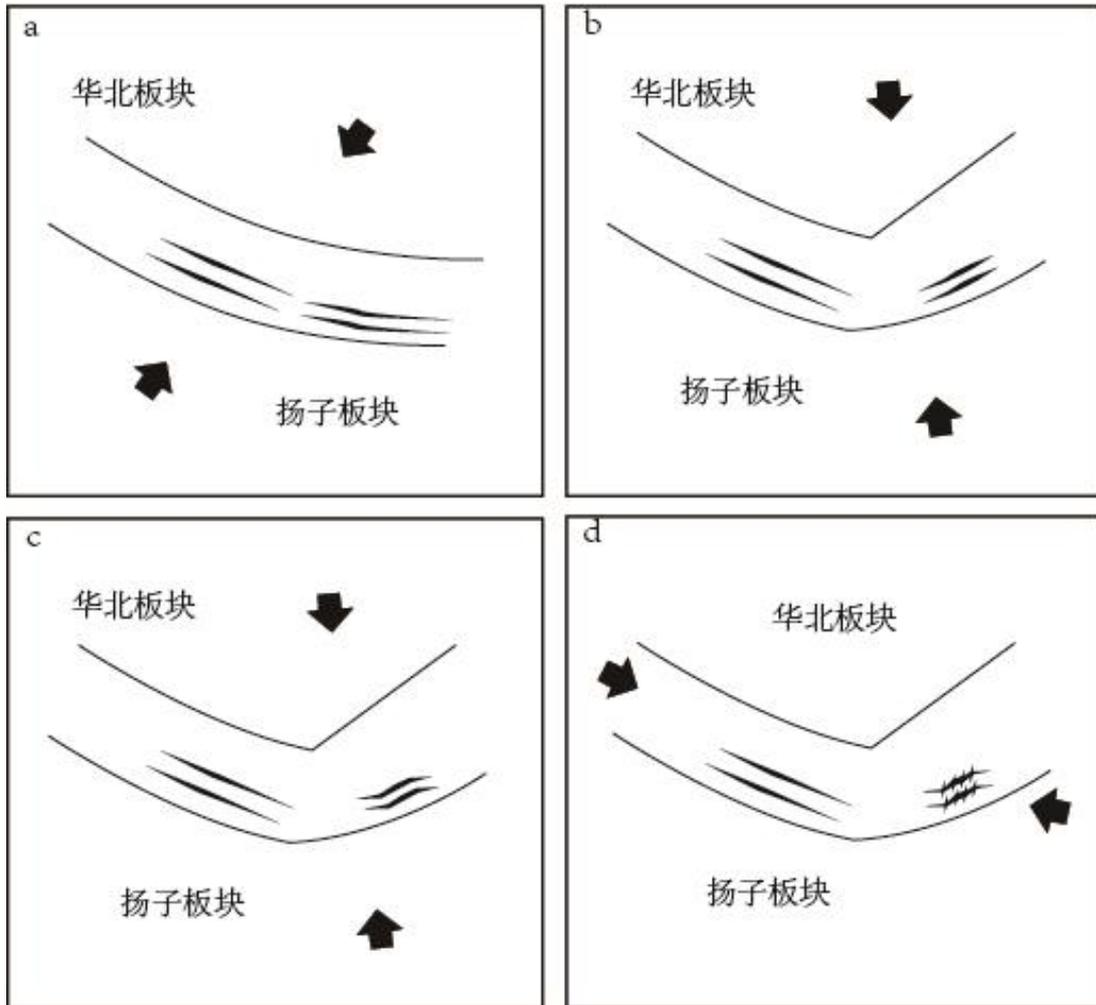


图6 铜陵地区构造应力场演化示意图

本区经历了长期而复杂的构造演化历史，正是这样复杂的构造活动，为铜陵地区的岩浆活动提供了构造基础，也为铜陵矿集区的形成提供了物质基础。

结束语

通过大量阅读前人文献，在前人研究成果的基础上，通过野外大量采集断层、擦痕、节理等数据，利用 Angelier 应力场软件和 Stereo32 赤平投影软件进行投影分析，得出铜陵地区自志留系地层至侏罗系地层的应力场数据。结合前人在本区工作的成果及对该区构造演化的认识，对铜陵地区的构造特征及演化认识如下：

①印支构造旋回早期, 铜陵地区 S-T₂ 地层在扬子板块向 NE 方向斜向俯冲的过程中, 形成了 EW 向褶皱, 伴随着褶皱形成的层间滑脱构造。

②燕山期是中国东部强烈构造变形和岩浆活动时期, 使印支运动形成的构造格局受到了强烈的改造, 使得铜陵地区原近 EW 向的构造线在逆时针转动下被改造为 NE 向, 出现现今的 NE 向褶皱群。并形成褶皱两端的近 EW 向摆尾, 同时形成铜陵地区枢纽近 EW 向的第二期宽缓褶皱。

③始新世末期受库拉板块向西的俯冲, 形成 110° → 290° 方向的挤压力, 在铜陵形成枢纽为 10° 方向的第三期褶皱, 形成铜陵地区现有构造格架。

④铜陵地区的构造演化过程中, 形成一系列的控岩、控矿构造, 为成矿的提供空间, 可以为深部找矿提供构造方面的基础数据。

[参考文献]

- [1] 宋传中, 黄文成, LinSF 等. 长江中下游转换构造结的特征属性及其研究意义[J]. 安徽地质, 2010, 20(1): 14-19.
- [2] 唐永成. 安徽沿江地区铜金多金属矿床地质[M]. 北京: 地质出版社, 1996.
- [3] 常印佛, 刘湘培, 吴言昌著. 长江中下游铜铁成矿带[M]. 北京: 地质出版社, 1998.
- [4] 刘文灿. 安徽铜陵地区构造变形分析及成矿预测[M]. 北京: 地质出版社, 1996.
- [5] 刘文灿, 李东旭, 高德臻. 铜陵地区构造变形系统复合时序及复合效应分析[J]. 地质力学学报, 1996, 2(1): 42-48.
- [6] 李进文, 裴荣富, 梅燕雄. 铜陵矿集区矿田构造垂直分带[J]. 矿床地质, 2004, 23(2): 206-215.
- [7] 宋传中, 蒋其胜, 李加好等. 安徽繁昌盆地南缘构造特征与控矿规律研究[J]. 岩石学报, 2012, 28(10): 3197-3208.
- [8] 王庆飞, 邓军, 黄定华. 铜陵矿集区构造-岩浆-成矿系统解析[J]. 地学前缘, 2005, 12(3): 120-128.
- [9] 官龙, 任升莲, 王道轩等. 下扬子地区晚印支-早燕山期古构造应力场数值模拟[J]. 合肥工业大学学报: 自然科学版, 2013, 2(11): 1373-1380.
- [10] 万天丰. 古构造应力场[M]. 北京: 地质出版社, 1988.
- [11] 万天丰. 构造应力场研究的新进展[J]. 地学前沿, 1995, 2(2): 226-235.
- [12] 马杏垣, 刘和甫, 王维襄等. 解析构造学刍议[J]. 地球科学, 1983, 3(3): 1-9.
- [13] 李东旭, 温场顺. 构造复合系统分析[J]. 地球科学, 1983, 4(3): 33-42.
- [14] 宋传中, LinShouFa, 周涛发等. 长江中下游及其邻区中生代构造体制转换[J]. 岩石学报, 2010, 26(9): 2835-2849.
- [15] 宋传中, 张华, 任升莲等. 长江中下游转换构造结与区域成矿背景分析[J]. 地质学报, 2011, 85(5): 778-788.
- [16] 董树文, 马立成, 刘刚等. 论长江中下游成矿动力学[J]. 地质学报, 2011, 85(5): 612-625.
- [17] 董树文, 施炜, 张岳桥等. 大巴山晚中生代陆内造山构造应力场[J]. 地质学报, 2010, 12(31): 769-780.
- [18] 张达, 李东旭. 铜陵凤凰山矿田成矿构造应力场模拟研究[J]. 地质力学学报, 1998, 4(2): 91-96.
- [19] 许康康, 杜杨松, 曹毅等. 安徽繁昌地区古构造应力场及其演化特征研究[J]. 现代地质, 2012, 26(3): 498-507.
- [20] 王彪, 王核, 任广利等. 安徽南部桃冲地区铁矿床控矿构造分析[J]. 大地构造与成矿学, 2010, 34(3): 362-367.
- [21] 孙叶, 谭成轩. 构造应力场研究与实践[J]. 地质力学学报, 2001, 9(7): 224-258.

作者简介: 刘国厅, 男 (1991.12-), 目前职位, 助理工程师。从事地质工程方向工程研究。