

# 铜陵地区构造变形系统复合时序 及复合效应分析

刘文灿 李东旭 高德臻

(中国地质大学,北京)

**摘要** 本文运用构造复合系统分析方法,在划分构造变形系统、分析构造变形系统复合时序的基础上,对安徽铜陵内生金属矿区构造变形系统复合效应进行了研究。揭示了该区构造变形历史及构造应力场的更迭,较详细地阐明了该区构造变形系统的复合关系、复合方式及复合效应。这项研究对探讨本区成矿规律及隐伏矿床预测有重要意义。

**关键词** 铜陵地区 构造变形系统 复合时序 复合效应

## 0 引言

随着岩石圈构造研究的深入,普遍发现地壳上多数地区经历了多次不同方式、不同方向的构造运动,在同一地区发育多期不同性质的构造变形现象。如何分析一个地区多期构造变形,李四光先生提出的构造体系的理论和构造复合分析方法仍然是极为重要的研究途径<sup>[1]</sup>。近几十年来,由于找矿工作及水文、工程地质工作的需要,局部地区构造变形的研究日益深入,特别是有些金属矿床的成生和空间分布与构造复合有密切关系,因而构造复合问题的研究越来越受到重视。

作者之一曾对构造复合分析的理论与方法进行过系统总结<sup>[2]</sup>,并提出构造复合分析的多项研究内容。本文运用这一分析方法,在划分构造变形系统、分析构造变形时序的基础上,论述了铜陵地区构造变形系统之复合效应。

## 1 构造变形系统及其复合时序

这里所提构造变形系统(简称变形系统)其含义与构造体系有一定差别。现在一般所讲的构造体系多指区域性或全球性构造体系,其形成时间是漫长的,在构造组成上是复杂的,大都是多次强烈构造运动期形成的构造变形组合而成。以往在构造研究中对构造变形进一步划分不够重视,而只是把同一运动方式、方向的多期构造变形之总体划归为某一构造体系,甚至包括构造体系成生过程中形成的建造。但从岩石变形角度出发,划分构造变形要以岩石变形期或幕为标志,不应将不同时期的构造变形放在一起去讨论。它们在变形特征、分布范围以及控矿意义上明显不同,应分别予以研究。因此,笔者把同一时间或大体同时的统一构造应力场作用下所产生的构造变形作为一个整体,称之为构造变形系统。

划分变形系统,实质上是按照构造变形的力学机制,在鉴定构造形迹力学性质、形成序次及成生联系的基础上,把同一时期统一应力场作用所产生的各项构造要素从复杂的构造变形复合图象中分离出来,分别研究其展布规律及变形特征。

划分变形系统与分析变形时序紧密相关。复合时序分析一方面要求尽可能确定每一变形系统相对应的构造运动期或幕;另一方面更强调变形系统发生的先后顺序。即强调变形系统形成的相对顺序和运动时期双重意义。

按照变形系统划分原则及变形系统复合分析,结合地球物理及沉积-岩浆建造资料,证实自晚古生代以来,本区存在5组主压结构面、9期构造变形系统<sup>①</sup>(表1)。现分述如下:

表1 铜陵地区构造变形系统复合时序表

Table 1 Period-Sequence of compounding of structural deformation systems in Tong Ling area

变形时期	变形系统	主要变形特征	受力方式、方向	主要划分依据
喜山期	南北向	断裂构造		切割岩体、矿体及铁槽
	东西向	断裂构造、宽缓褶皱		第三系褶皱,断裂切割北西向及其以前的构造
	北西向	断裂构造		切割岩体、破坏矿体,切割北东向断裂构造
燕山期	北北东向	断裂构造为主,局部发育中型宽缓褶皱		扭动复合于北东向、中期东西向褶皱之上,伴随强烈的岩浆活动及成矿作用
	南北向	断裂带、片理带、小褶皱密集带		叠加于北东向及中期东西向构造之上,变形与岩体侵入接触变质同时
	东西向	中型舒缓褶皱		斜跨叠加于北东向褶皱之上
印支期	北东向	S状褶皱群,呈隔档式组合,走向及横向断裂构造		晚三叠世以前的古生代地层均卷入褶皱变形
前印支期	东西向	基底断裂带		限制印支期北东向S状褶皱构造的变形
	南北向	同沉积基底断裂带		控制中一上石炭统及二叠系茅口组沉积,限制北东向及北北东向褶皱变形

### 1.1 NE向变形系统

NE向变形系统为本区最醒目的一期变形,由一组NE向S状褶皱、走向断层和横向断层组成。其主要特征以前已有论述<sup>[3][4]</sup>,这里仅补充两点:①褶皱具隔档式组合特征,即向斜开阔、背斜紧闭;②据全区175个NE向小褶皱两翼产状投影,两翼夹角均值为70°。褶皱卷入地层为志留系一中三叠统,证明其形成于印支期。据下扬子地区沉积资料,侏罗系象山群与上三叠统黄马青组呈角度不整合接触,多认为这期构造运动(南象运动)为褶皱形成之主幕<sup>[5][6]</sup>。

① 中国地质大学(北京),铜陵地区矿田构造及成矿预测,1990。

## 1.2 EW 向变形系统

EW 向变形系统远比以前所认识的复杂,除前人讨论过的基底断裂<sup>①</sup>,尚有两期不同特征的变形系统。

基底断裂属早期 EW 向变形系统,指分布于本区南北两端的童埠—木镇断裂带和铜陵县—钟鸣断裂带,两端均延出本区,为前印支期形成的区域性构造。其存在主要证据有:①沿断裂为明显的重磁异常带,据推断可能切至上地幔<sup>[7]</sup>;②TM 卫片上为清晰的线性影像特征带,与重磁异常带对应,延伸几十公里;③构造变形复合分析表明,基底断裂限制了两侧印支期 S 状褶皱变形;④区外有出露,早期表现为挤压变形特征<sup>②</sup>。

中期 EW 向变形系统形成于印支期之后,主要表现为斜跨叠加在 NE 向褶皱上的中型宽缓褶皱。西部表现清楚,大致等距分布;东部多为密集的小褶皱带。据全区 120 个小褶皱统计,其幅波比均值为 0.3,两翼夹角大于  $90^\circ$ ,多在  $120^\circ$ — $130^\circ$ 间。按 J. G. Ramsay 等倾斜线分类,多属 IB 型。从与 NE 向变形系统的复合关系及其对侵位岩的控制方式分析,该期变形成生于燕山早期。该期变形不仅以 NE 向褶皱枢纽有规律的起伏变化表现出来,而且次级褶皱的叠加也反映出这种复合关系,如钟鸣西发育三叠系下统南陵湖组薄层灰岩中 EW 向宽缓褶皱,叠加在近乎卧的 NE 向褶皱上,使其轴面重褶皱,枢纽弯曲(图 1)。另一方面,该期变形形成的铜陵市—戴家汇 NW 向构造带对岩体侵入有明显的控制作用。具体说,该带与 NE 向背斜的叠加处形成明显隆起,为岩体侵入提供了有利空间,本区主要成矿岩体多位于这样的隆起部位。

晚期 EW 向变形以脆性断裂为主,多切割岩体、矿体,并在第三纪红层中形成微缓褶皱,显然为喜马拉雅期产物。

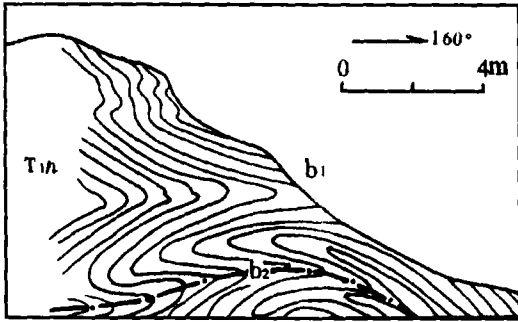


图 1 钟鸣西叠加褶皱

Fig. 1 Superposed folds in the west of Zhong Ming

b<sub>1</sub>. NE 褶皱枢纽 ( $57^\circ \angle 5^\circ$ ); b<sub>2</sub>. EW 褶皱枢纽 ( $262^\circ \angle 2^\circ$ )

T<sub>1n</sub>. 三叠系下统南陵湖组薄层灰岩

## 1.3 SN 向变形系统

本区也存在多期 SN 向变形系统。早期为新桥—木镇基底断裂带,从其控制沉积—岩浆建造及后期构造变形来看,形成于前印支期。主要证据有:①中上石炭统沉积资料反映出断裂带附近地层显著加厚。两侧二叠系茅口组岩相、沉积厚度差异更大,西侧为硅质岩相,厚 41—83m。东侧为灰岩相及硅质岩相,仅灰岩厚度就大于 200m;②沿断裂带岩浆活动强烈,分布众多 NNW 向岩脉;③对后期变形有限制作用(详后);④地球物理资料表明此带为重磁异常梯度带,两侧重磁场特征不同。

中期 SN 向变形系统由褶皱、挤压破碎带和片理带组成。褶皱不连续发育,主要为中小型,密集成带分布,如狮子山 SN 向构造带内发育许多直立褶皱。该期变形另一重要特征是发育 SN 向片理带,表现为韧性变形相,主要见于狮子山之南侧簸箕山三叠系大理岩中。从片理变形特征分析,片理的形成与燕山期辉石闪长岩侵入接触热变质作用同时。从构造变形的复合关系分析,该期变形晚于 NE 向及中期 EW 向变形,在露头尺度上常见其复合现象。如钟鸣、新桥

① 安徽省地质矿产局 321 地质队,铜陵幅 1:5 万区域地质矿产调查报告,1969。

② 安徽省区调队,安徽省构造体系图说明书,1979。

等处可见 SN 向褶皱分别复合在 EW 向及 NE 向褶皱之上。

晚期 SN 向构造变形以脆性压剪性断层及挤压破碎带为主,常见其切割岩体、矿体和铁帽,如铜官山矿田切割铜官山岩体及矿床的 SN 向破碎带即属此类。

#### 1.4 NNE 向变形系统

过去忽视了该组变形系统的研究,其原因可能是:①铜陵地块为夹于 NNE 向强烈变形带间的相对弱变形区;②与 NE 向褶皱以较小角度叠加,多迁就归并早期 NE 向的构造形迹,具“隐蔽”复合特点。因此,较难辨认。

通过详细构造观测及复合分析,发现控制岩浆活动及成矿作用的即为 NNE 向变形系统,这已被详细的矿田构造分析所证实(李东旭等,1990)。据本区火成岩活动及成矿作用同位素年龄统计结果,表明成岩成矿时期集中在 100—160Ma。属燕山晚期。从区域沉积资料分析,侏罗系与白垩系之间存在角度不整合。上述均证明在燕山晚期存在着强烈的构造活动。该期变形系统以脆性断裂为主,局部见褶皱、劈理带及陡立岩带。断裂活动表现为两种形式,一是新产生的 NNE 向压剪性断裂带,如狮子山、凤凰山及戴家汇一带均有发育;另一类是 NE 向走向断裂带的再活动。褶皱主要分布在新桥、挂岭脚等处。

#### 1.5 NW 向变形系统

NW 向构造以断裂为主,主压结构面走向 N320°W 左右,多为脆性挤压破碎带和逆冲断层,如凤凰山矿田南部及东部均可见切割岩体、矿体的 NW 向逆冲断层。其它变形系统的 NW 向伴生断裂多被 NW 向变形系统复合,表现了复杂的力学性质。

## 2 构造变形系统复合效应分析

既然许多地区的构造变形都是不同时期的不同变形系统相互复合的结果,因此在研究一个地区构造的空间格局时,就需进行构造复合效应分析。复合效应是指相互复合的两期变形系统,晚期对早期的迁就、继承及改造,或则早期对晚期的限制或控制。构造复合效应主要表现在构造形迹的相互交切、置换、叠加以及褶皱几何形态的畸形和断裂的多次活动。应从几何效应及力学效应进行分析,现就本区典型复合现象作简要介绍。

### 2.1 基底断裂对盖层褶皱的限制

如前所述,本区存在前印支期 EW 向基底断裂带及 SN 向基底断裂带,由于后期构造活动引起基底断裂带重新活动以及断裂带分隔引起的基底不均一性,必然影响盖层构造变形。本区主要表现为限制印支期及燕山期褶皱变形。

(1)EW 基底断裂对 NE 向褶皱的限制,NE 向褶皱轴线皆呈 S 状弯曲,轴面也为 S 状扭曲面,而且越接近南北两端的基底断裂带,其轴线偏转愈大,褶皱倒转或歪斜的程度也愈剧烈,但并不越过基底断裂带形成与邻区 S 状褶皱相连的、断层两侧的剪切牵引褶皱,而属于受 EW 向基底断裂带阻隔的“限制”型 S 状褶皱。

从力学成因分析,印支期铜陵地区受到近 SN 向反时针剪切应力作用。因受周围构造环境的限制,不能自由变形,在 SN 两边界上产生右旋剪应力(剪应力互等原理)和由限制 NE 向伸展引起的正应力,从而使变形受阻,两端褶皱偏转。即在压剪联合应力场作用下,造成最大主应力轨迹呈 S 状弯曲。进行的模拟实验和弹性有限单元分析,证实了上述分析<sup>[9]</sup>。

(2)SN 向基底断裂对 NE 向及 NNE 褶皱的限制,从图 1 可知,新桥—木镇 SN 向基底断裂带两侧的 NE 向褶皱形态特征显著不同,西侧 NE 向褶皱幅度小,延伸短,向斜开阔,背斜紧

闭,呈隔档式组合;而东侧 NE 向褶皱幅度大,延伸长,隔档特征不明显。上述变形差异表明,SN 向基底断裂对印支期构造变形也有明显的限制作用。

另一重要现象是,NNE 向的主要褶皱,如新桥—盛冲向斜、舒家店及挂岭脚鼻状背、向斜构造,均沿 SN 向基底断裂带附近分布。这可能与基底断裂带受 NNE 向构造应力场的影响再活动有关,同样反映基底断裂对燕山期构造的限制作用。

## 2.2 不同量级褶皱复合

关于两组褶皱的叠加,许多学者均有重要论述<sup>[9][10]</sup>,并强调早期与晚期褶皱由于级别不同而引起叠加后形态与规模的不同。因而对构造复合现象应进行量级分析。

量级相近的构造复合,复合效应显著而易于察觉。不同量级的构造复合多具隐蔽的复合效应,常被忽视。本区中期 EW 向褶皱与 NE 向褶皱的复合即属后一情况。EW 向褶皱规模、幅度远比 NE 向褶皱小,以斜跨叠加的方式复合于 NE 向褶皱之上,致使北东向褶皱轴线绕近 NE 向轴发生起伏变化,但未改变 NE 向褶皱的整体结构,因此在图面上反映不明显。通过对铜官山背斜详细填图及青山背斜三叠系下统南陵湖组和殷坑组岩层底板标高趋势面分析(刘文灿,1987),均发现背斜轴线对应起伏变化,形成等距分布的 EW 向构造带,间距约 2—3km。

## 2.3 扭动构造复合

燕山晚期 NNE 向变形系统以扭动方式复合于 NE 向及中期 EW 向变形系统之上,复合效应与一般叠加变形明显不同,形成一些独特的复合现象。

(1)NE 向褶皱的麻花状轴面,在本区西部表现尤为明显,NE 向褶皱不仅在平面上呈 S 状,而且在剖面上褶皱中段轴面近直立、北段倾向南东、南段倾向北西,即褶皱轴面空间上呈一麻花状扭曲面。其轴面与不同深度的水平面之交线均呈 S 状曲线。分析认为,这种独特的现象是 NE 向褶皱在燕山晚期,经受 NNE 向变形扭动复合所致<sup>[3]</sup>。

(2)剪刀式横向断层,NE 向变形系统伴生的横向断裂(走向北西 310°—320°),多具一期左行右下旋撕裂运动,即平面上呈左行剪切,剖面上北东盘呈剪刀式下旋,两盘似沿一支点发生剪刀式转动。断裂带北西段宽度及断距较大,向南东逐渐变小而尖灭,如铜官山 NW 向断裂带这种运动方式表现明显。据分析,此组断裂既非简单的张性,也非简单的剪性,而是属于线弹性断裂力学中的撕裂断层。其成因是 NE 向 S 状褶皱沿近水平轴再次发生扭转变形所致。

(3)褶皱的扭动叠加,从 NNE 向褶皱对 NE 向褶皱复合的角度看,其复合效应表现出强烈的扭动改造特征,不仅使舒家店及挂岭脚一带岩层强烈扭曲而形成鼻状构造,而且使其枢纽强烈起伏变化,如新桥南侧,NE 向褶皱枢纽相向倾伏,形成 NNE 向的向斜。上述复合的结果,使水村桥背斜呈现两头宽、中间窄的特殊形态。此外,由于铜官山背斜、青山背斜紧闭,发生褶皱叠加比较困难,则复合的结果是使 NE 向褶皱枢纽发生变位而转向 NNE 向,如铜官山背斜北段、青山背斜北段均因 NNE 向构造带的复合而向 NNE 向偏转。

(4)层间滑脱构造,青山背斜北段北西翼三叠系薄层灰岩中发育滑脱构造,其走向为 NNE 向(图 2)。据上覆系统拖曳褶皱轴面与滑脱面夹角判断,上覆系统相对下伏系统发生逆时针滑动。这与铜官山北段扭动叠加变形方式相同。据铜官山背斜北段层间褶皱轴面与层面的夹角判断,两翼岩层均发生上层相对下层岩层的逆时针扭动(而南段与之相反)。以上与 NE 向褶皱的麻花状轴面所反映的复合方式是一致的,充分说明是同一构造应力场作用的构造变形。

## 2.4 断裂力学性质的多次转化

因存在多期变形系统复合,断裂力学性质往往多次转化,这一特征在本区断裂构造中表现非常明显。下面仅以 NW 向断裂为例来说明这一问题。

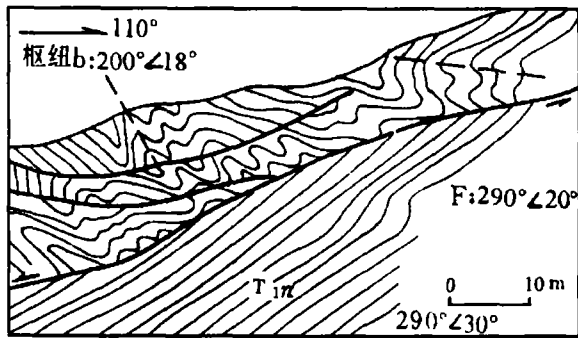


图2 青山北层间滑脱面

Fig. 2 Sliding structure in Qing Shan Bei

T<sub>1n</sub> 三叠系下统南陵湖组薄层灰岩

统之主要成分。北西 280°—290°方位的断裂带早期为压剪性或挤压破碎带,属中期 NW 向变形系统;中期为张性破碎带,为 SN 向或 NNE 向变形系统的复合成分。

上述不同方位、不同性质的断裂带,经多期变形复合,相互连成一体,在有利的条件下构成重要的控矿断裂带。凤凰山药园山 NW 向断裂带即由 3 组断裂复合而成,在燕山晚期相互连成一体,成为重要控矿构造(图 3)。

本区 NE 向断裂构造,在 SN 向和 EW 向挤压时,也出现反扭和顺扭多次活动。SN 及 EW 向断裂构造的力学性质也有多次转化之特点,这与古构造应力场之更迭有密切关系。

### 3 结论

从上述分析不难看出,运用构造变形系统复合分析方法,划分构造变形系统、建立构造变形系统复合时序及分析构造变形复合效应是矿田构造研究的重要内容。在上述研究的基础上才能较准确地反演矿田内的构造演化及合理地认识构造的空间格局,才能较清楚地阐明矿田内岩浆侵位及矿床赋存分布规律。这无疑对隐伏矿床预测有重要的意义。

该项研究得到安徽省地矿局 321 地质队、铜陵有色公司地质队及各矿山地测科的大力支持,在此表示感谢。

首先在分布上,存在三组 NW 向断裂构造,即北西 340°—345°、北西 310°—320°及北西 280°—290°。其次三组断裂力学性质均表现为多次转化为北西 340°—345°方位的断裂构造,早期为左旋张剪性或剪刀式撕裂,有燕山晚期岩脉充填,属 NNE 向变形系统的伴生构造;晚期为压剪性,切割岩体、矿体,属 NW 向变形系统,北西 310°—320°方位的断裂构造,其力学性质最为复杂,主要有 3 期转化,早期为张性,属 NE 向褶皱的伴生横张;燕山晚期表现为张剪性或剪刀式撕裂,并充填岩脉,为 NNE 向构造变形复合之结果;晚期表现为压剪性,为 NW 向变形系

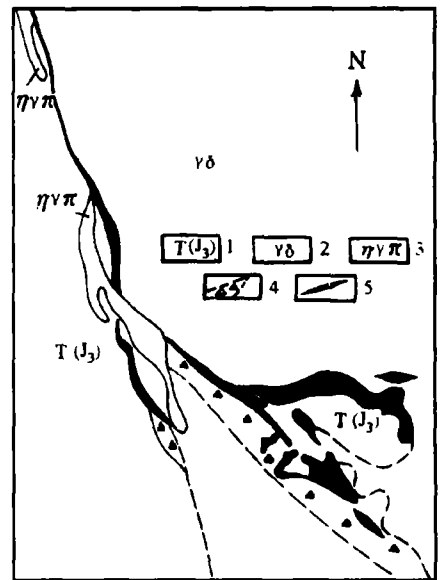


图3 药园山—120m 中段地质图

Fig. 3 Geologic map of Yao Yuan shan (-120m)

1. 三叠系大理岩; 2. 花岗闪长岩;
3. 二长花岗斑岩; 4. 断层破碎带; 5. 矿体

## 参 考 文 献

- 1 李四光,地质力学概论。北京:科学出版社,1973。
- 2 李东旭、温长顺,构造复合系统分析。地球科学,1983,(3):33-42。
- 3 刘文灿、李东旭,安徽铜陵地区褶皱构造变形特征及其影响深度探讨。安徽地质,1993,3(4):1-9。
- 4 刘文灿、李东旭,铜陵地区层间滑脱构造及其控矿作用,地质力学文集(10)。北京:地质出版社,1995:85-92。
- 5 邓永高、吴瑞棠、辛建荣,下扬子地区的印支运动。地质论评,1980,26(5):430-435。
- 6 冯福门,国际交流地质学学术论文集(2)。北京:地质出版社,1985:37-45。
- 7 陈继宇,长江中下游深部构造与铁铜矿产。地质与勘探,1983,(12):14-17。
- 8 李东旭、谭以安,限制型S状构造及其模拟——以铜陵地区为例。现代地质,1989,3(3):309-318。
- 9 Ramsay J G. Folding and fracturing of rocks, McGraw-Hill Book Company, New York:1967.
- 10 Патлаха Е Ц. Слепых Ю X. ,Пересекающаяся складчатость(Геометрический анализ). М., Недра,1974.

## ANALYSIS OF THE TIME SEQUENCE OF COMPOUNDING OF STRUCTURAL DEFORMATION SYSTEMS AND THE RESULTING EFFECTS IN TONGLING AREA

Liu wencan Li Dongxu Gao Dezhen

(China university of Geosciences, Beijing)

**Abstract** A study of the effect of compounding of structural deformation systems in the Tong Ling copper-gold area is made based on a division of the structural deformation systems involved and an analysis of their time-sequence. The history of structural deformation and changes of tectonic stress field are also brought to light. This must be useful for achieving a knowledge of ore-genesis and prediction of the hidden deposits in the area.

**Key words** Tong ling area, structural deformation systems, time sequence of structural compounding

### 第 一 作 者 简 介

刘文灿,男,1962年生,副教授,博士。主要从事地质力学、区域地质及矿田构造等方面的研究。通讯地址:北京海淀区学院路29号中国地质大学区调所。邮政编码:100083。