

文章编号:0258-7106(2004)03-0399-06

铜陵矿集区燕山期地壳浅部成矿流体活动的构造控矿*

邓 军¹ 王庆飞¹ 黄定华² 高帮飞¹

(1 中国地质大学“岩石圈构造、深部过程及探测技术”教育部重点实验室,北京 100083;

2 中国地质大学地球科学学院,湖北 武汉 430074)

摘 要 为查明铜陵矿集区在燕山期不同层次、不同部位和不同类型的构造的导流-控矿作用,作者完成了 3 个构造物理模拟实验,分别模拟了中-深层次断裂系统、浅表部褶皱-断裂系统与中部褶皱系统的应力性质与应变景观;依次分析了不同方向、不同部位和不同层次控矿断裂及褶皱的导流作用,讨论了特定构造部位多种构造形迹复合而成的三维控流系统对流体运输的控制作用。分析表明,在区域地壳浅部的中-深层次,褶皱作用较弱,主要由盖层岩系断裂系统及基底断裂共同组成导流断裂系统,为成矿流体的浅部运输提供了通道;在中-浅层次,褶皱作用较强,褶皱及其相伴生的断裂系统为流体提供了就位空间。

关键词 地质学 构造物理模拟实验 成矿流体 控矿构造 基底断裂 应力分析 铜陵矿集区

中图分类号:P554;P613

文献标识码:A

铜陵矿集区于印支期-燕山期经历了先压后剪的构造变形过程,形成了现今的区域构造格架(常印佛等,1991;Pan et al.,1999;翟裕生等,1992);同时,燕山期的岩浆活动又是矿集区形成的主要因素(Wu et al.,2000;邓晋福等,2002;Xu et al.,2000;2001)。因此,查清该区地壳浅部(主要指海相中、古生界)燕山期成矿流体活动的构造控制是探明区域成矿规律及进行找矿预测的重要基础。矿集区经历了构造变形后,发育了不同性质、不同方位和不同层次与级别的构造,组成了复杂的三维导流-控矿网络。传统矿田构造研究从系统力学机制分析与大量矿区实例相结合的角度,对构造控矿作用做了深入而细致的讨论。但由于研究方法的限制,其研究对象多集中于矿田或矿床的局部,讨论多限于二维情况,所以研究区域性三维复杂构造网络的控矿作用尚需其他研究手段的辅助。以往的物理模拟实验多用于探讨构造形成机制(黄定华等,1994),考虑到在现有的研究方法中,物理模拟实验是最有潜力成为研究构造网络导流-控矿作用的重要补充手段。因此,笔者设计了 3 个构造物理实验,分别模拟了铜陵矿集区地壳浅部中-深层次断裂系统、浅表部褶皱-断裂系统与中部褶皱系统的应力性质与应变景观。然后结合应力-应变分析,探讨了不同方向、不同部位和不同层次的断裂及褶皱的导流作用,进而讨论了特定构造部位中多种构造形迹复合而成的三维构造网络的导流-控矿作用。

1 变形过程与导流控矿网络

1.1 地表构造形迹与变形过程

由区内盖层岩系之间的接触关系和变形特征看,从志留系到下三叠统之间全部为整合或假整合接触,表明自晋宁运动以后至印支运动以前,本区曾以整体垂向升降为主。又由于组成区域构造格架的主要地层为志留系到下三叠统,后者与中三叠统之间为角度不整合接触,因此推断其构造格架在印支运动阶段形成雏形,而大致定型于燕山运动阶段。更晚时期的改造叠加虽有一定影响,但没有改变其构造景观的主要特征。

结合野外观测与前人工作结果,可将铜陵矿集区于印支-燕山运动时形成的地表基本构造简示于图 1a。不难发现下列特征:

- (1) 北东向“S”型褶皱群是区域构造的主体成分;
- (2) 北东向走向断裂多与褶皱相伴,野外观测则表明它们多为顺层滑脱断层;
- (3) 北西向断裂切割了褶皱和北东向滑脱断层,左行走滑活动明显。

铜陵矿集区在板内变形期间只有经历先压后剪的过程,才可能发育“S”型褶皱这种特殊的构造形迹。铜陵矿集区边界处的变形特征隐示着递进变形过程中南东边界为主受力

* 本文受国土资源部科技专项计划(编号:20010103)、教育部科学技术研究重点项目(编号:03678 和 01037)、国家自然科学基金重点项目(批准号:40234051)和国家重点基础研究发展规划项目(编号:1999043206)共同资助

第一作者简介 邓 军,男,1958 年生,教授,博士生导师,主要从事区域构造、成矿流体及成矿动力学的教学和科研工作。

收稿日期 2004-03-23;改回日期 2004-06-09。张绮玲编辑。

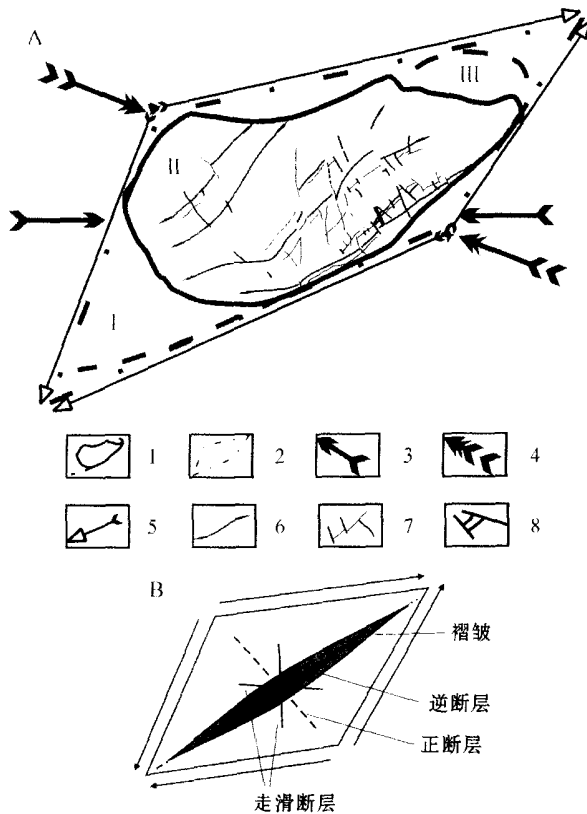


图1 铜陵矿集区印支-燕山运动期构造应力-应变关系
A. 区域构造格架平面简图:1—铜陵矿集区边界;2—铜陵矿集区简化形态;3—第一期应力方向;4—第二期应力方向;5—第二期应力分力方向;6—背斜枢纽;7—简化断裂系;8—大格林式断层;I—南陵盆地;II—铜陵褶-断系;III—繁昌盆地
B. 应力-应变方位图:主褶皱轴大体上沿北东-南西方向延伸;北东向也为逆断层的发育和延伸方向;北西向为正断层发育的优势方位;近南北和近东西方向是一套高角度共轭平移断层

Fig.1 The relationship between stress and strain in Tongling ore concentration area in Indosinian - Yanshanian period

A. Plan of regional structures: 1—Boundary of Tongling ore concentration area; 2—Simplified shape of Tongling ore concentration area; 3—Direction of the first stress; 4—Direction of the second stress; 5—Direction of the component of the second stress; 6—Anticline hinge; 7—Simplified fracture system; 8—Great Green-style fault; I—Nanling basin; II—Fold-fault system of Tongling area; III—Fanchang basin.

B. Diagram showing the relation between stress and strain: NE-SW striking folds; NE-striking reverse fault; NW-striking normal fault; Approximately NS and E-W-striking conjugate transcurrent faults with high dip angles

点,应力传递当由矿集区的南东往北西方向进行。通过平衡剖面计算得出挤压应变量为20%,剪切应变量为根据“S”型褶皱的旋转得出:从区域中部“S”型褶皱的枢纽指向看,其两端在原枢纽指向的基础上最多顺时针偏转了约25°,此即为该区的最大剪切应变量为(Deng et al., 2004)。

1.2 导流控矿网络

野外观测证实,自上而下区域一级的褶皱幅度逐渐降低,

志留系中的一级褶皱幅度较小,并且层内流褶皱和劈理化高度发育,说明志留系地层已开始呈现由脆性变形向脆-韧性变形转变的特征,由此推断其下伏地层的褶皱幅度也较低,且变形多具延性。前人研究证实,盖层岩系下部存在不同方向的基底断裂,是成矿流体由深部向浅部运输的主要通道。因此,在区域地壳浅部(主要包括海相中、古生界和基底岩系的上部)的中-深层次,由于褶皱作用较弱,所以主要由盖层岩系断裂系统及基底断裂共同组成导流断裂系统,为成矿流体(包括岩浆)的浅部运输提供了通道;而在中-浅层次,由于褶皱作用较强,褶皱及其相伴生的断裂系统则为流体提供了就位空间。流体由深部向浅部运输过程中,有可能在中部层次储存,而在早期挤压形成的褶皱系在后期剪切过程中可能由于形态更加复杂,而发育成良好的流体储存空间,流体进一步运输到浅部褶-断系中形成矿体。

2 构造物理模拟实验过程

尽管图1a所示的构造格架经历了从挤压到剪切的递进变形,但各种构造形迹的力学性质更多的还是受制于晚期应力。故在如图1a给定的平面应力条件下,应变产物的正常发育方位如图1b所示,其反映了深部断裂系统与浅部褶皱-断裂系统的理想分布状态。但由于真实应变场中构造形迹的力学性质与通过简单力学分析所得到的结果可能会有所出入,如①随着变形的持续,图中各种构造形迹的方位还会发生适度偏转,其力学性质则会有更大幅度的改变乃至质变;②在真实的三维应力条件下,北东向断裂在深部层次以逆断层为主,而此方向断裂在中-浅部层次更多地发育顺层滑脱断层。因此,有必要采用物理模拟实验来更切合实际的应分析应变场力学特征及控矿作用。

控矿构造的埋深层次、延伸方向和力学性质的差异导致了其导流控矿功能的不同。作者设计了3个构造物理实验来模拟不同深度的导流系统的应力状态与应变景观,包括地壳浅部中深层次断裂系,中部层次褶皱系及浅部褶-断系,进而讨论了特定层次背景下不同部位、不同方向的构造形迹的导流作用。

据上述变形方式和变形过程逆推,可先将铜陵矿集区的无规则边界形态近似恢复为菱形;由褶皱的平面组合形式分析,再将菱形进一步恢复到接近矩形(图2)。据此可设计变形实验夹具,主要包括自选设计的边界可变速式挤压盒与剪切盒(图3)。挤压盒的长和宽分别为30 cm和16 cm;剪切盒的

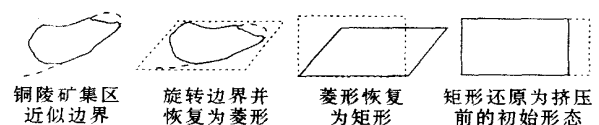


图2 构造模型原始形态的恢复

Fig.2 Reconstruction of the original shape of the tectonic model

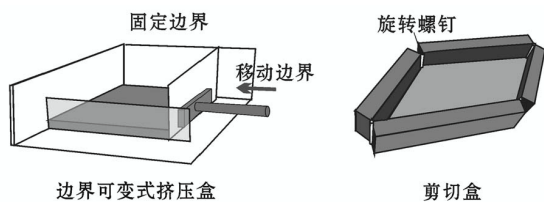


图 3 变形夹具简图

Fig. 3 Sketch of deformation jigs

长和宽分别为 24 cm 和 16 cm。

从构造地质学角度分析,矿集区内的“S”型褶皱组合,应该是先发生弹性失稳,再经历塑性流变的结果。而在变形过程中,由于构造层次的区别,使下部岩系多具有延性,上部岩系多具有弹性。因此,实验介质选用高分子材料硅酮与岩粉按一定比例配制成两种粘度不一的材料,粘度较大者用于下部岩系,粘度较小的则用于上部岩系。但总体保证两者施力后模型的变形保持在弹塑性变形范围之内。实验变形过程一般分为两步:首先以右边界为施力点,上、下和左边界固定,使模型按 20% 的应变变量完成挤压过程;然后将压缩成形的模型迅速套入剪切盒,在左上角和右下角施加一对平行于上、下边线的力偶,使模型随剪切盒顺时针旋转 25°。全部实验在螺旋杆机械变形台上完成。

现将 3 次构造物理实验目的与操作过程分述如下:

实验一:本实验力图查明区域内中-深层次断裂系统的力学性质及构造形迹的特征。由于各方向断裂力学性质更多的还是受制于晚期应力,所以本实验略去初始挤压过程对断裂系统的影响,而直接从剪切阶段开始。由于下部褶皱作用较弱,所有实验的初始模型将原发育褶皱的岩系简化为未受褶皱作用影响的平面岩系。根据相似原理,参照其实际尺度,确定初始实验模型的长、宽、厚分别为 24 cm、16 cm、2.5 cm,并在初始平面模型上,按图 1b 所示的断裂体系的理想平面分布状态上刻上不同方向的线条(北东),代表已形成的各方向延伸的断裂(图 3a)。由于负荷,区域中-深层次物质在变形过程中,相对于上部物质更多表现了延性,所以使用了粘度较大的实验材料。将制备好的初始模型直接放入剪切盒中完成剪切作用,通过判断剪切后断裂构造的力学性质,进而推断其控流作用。

实验二:其目的为研究浅表层次褶皱及其相伴随的断裂作用的控流效应。由于区域下部地层的顶托,上层物质在变形过程中,相对于下部物质更多表现了弹性,所以使用了粘度较小的实验材料。根据相似原理,参照其实际尺度,确定初始实验模型的长、宽、厚分别为 30 cm、16 cm、1 cm。依次使初始模型经历先压后剪的递进变形过程。

实验三:其目的为模拟中部层次中早期挤压形成的褶皱系统的演化情况。根据相似原理,参照实际尺度,确定实验模型的长、宽、厚分别为 30 cm、16 cm、1 cm。实验材料同实验一,实验步骤同实验二。

3 构造网络导流-控矿功能解析

下面将以断裂和褶皱两大构造类型为纲,结合模拟实验结果、力学机制分析及野外现象,进行具体讨论。

3.1 断裂与流体的关系

(1) 断裂的方位与力学性质

铜陵矿集区盖层岩系的断裂优势方位包括北西向、北东向、近东西和近南北向(图 4)。这些断裂的形成大多经过了印支-燕山期由挤压向剪切的嬗变过程,它们的几何形状与力学性质伴随着区域应力场的转变而不断变化。图 4 展示了区内平面断裂系统的最简组合,作为后文讨论真实三维系统的基础。对比该图所示变形前后的断裂特征可以看出:①在模型的北西部分,不同方向的断裂于整个变形期间多出现不同程度的扩张,呈现出张剪性特征;②由于所处部位不同,同一条断裂的不同地段会呈现出不同的力学性质;③走滑断裂多趋于东西向;④断裂交汇处多呈张性。

图 4 所示的平面情况反映了二维系统中断裂的一般特征。实际变形由于处于三维应变场中,断裂系统的组合及其力学性质更为多变,故还需逐一进行具体讨论。

(2) 北西向断裂组合与流体的关系

北西向断裂组合包括上述北西西向断裂系、北西向断裂系和北北西向断裂系,分别由图 1 中的近东西向共轭断层、北西向正断层和隐伏的近东西向基底断层演变而成,其中多数为高角度断层。实验表明,在变形的大多数时期,该断裂组合都保持为张性或张-剪性,随着应变的持续,有不同程度的扩张与滑动。从野外观测来看,北西向断裂发育与定型时间均略晚于其他断裂,主要活动于区内主褶皱形成之后,切割且贯通了其他先成构造。故在流体和岩浆活动的高峰期,它们正好提供了由深部向浅部运移的有利通道,也因此而成为区内最重要的导流和控矿构造之一。

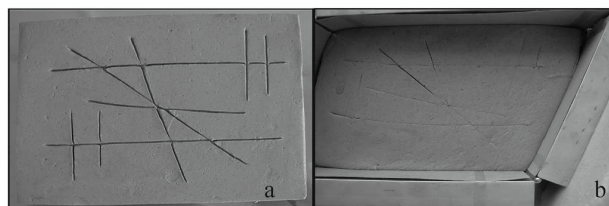


图 4 平面断裂系统力学性质实验图解(实验一结果图示)

a. 实验初始景观。在模型表面预置了潜在裂隙,其宽度和深度都是一致的; b. 实验结束景观。预制裂隙在经历了剪切变形后,发育和演化为性质不同的断裂系统

Fig. 4 Analogue experiment of the fault system at the middle - deep level (Experiment One)

a. Model view at the beginning of the experiment, showing pre-engraved faults with the same depth and width; b. Model view at the end of the experiment, showing the changed properties of the preengraved faults after shearing

(3) 北东向断裂组合与流体的关系

北东向断裂组合包括北北东向断裂系和北东东向断裂系,分别由图 1 中的近南北向共轭断层、北东向逆断层发展演变而成。其中除北东向断裂的前期性质为正断层而有过短期扩张外,后两种均由压剪性走滑断裂或逆断层发育而成。在变形晚期它们都以压性或压剪性为主,故一般不利于流体运移。

另一方面,在野外确实可见北东向的线性容矿构造存在,且后者往往与破碎带共生。这与此处分析似乎矛盾,但实际上,这类容矿构造主要与褶皱的发育和进一步变形有关,所以作者将其放入后文褶皱与流体的关系中讨论。

(4) 南北向断裂与流体的关系

在平面系统中,近南北向断裂多由初期的南北向共轭断层演变而来。随着地块边界剪切变形的持续加强,其方位稍向北东-南西偏转,并逐渐转变为压剪性,因此一般不能构成良好的导流通道。但在近地表层位中,有一部分成因特殊的近南北向断裂则相反,最终成为重要的浅层容矿构造。如图 5 所示,沿北东向蜿蜒延伸的“S”型背斜顶部发育了一系列近南北向张剪性裂隙。其原因在于背斜顶部为拉伸环境,故易于发育扇形纵张节理,且随着变形的强化,还可连续演变为走向正断层。此类构造虽发育于单层褶皱的顶部,但由于下部为挤压环境,可进一步发育成逆冲断层,而使断裂贯穿整个褶皱。针对具备多层结构的纵弯褶皱而言,此类构造则有可能成为沟通整个褶皱系的导流构造(图 6)。

(5) 基底断裂与流体的关系

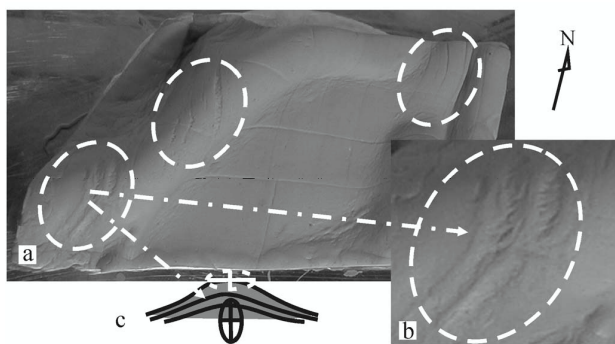


图 5 背斜顶部转折端变形特征实验图解
(实验二结果图示)

a. 圆圈内为褶皱顶部转折端发育的近南北向次级断裂; b. 图 a 的局部放大图。其中可见近南北向断裂由一系列羽列式次级裂隙贯通而成; c. 背斜核部应变分布剖面图。虚线椭圆的方位分别显示不同的应变椭圆类型,横置示水平拉张,竖置为水平挤压

Fig. 5 Analogue experiment of the subsurface fold-fault system (Experiment Two)

a. The circle highlighting the secondary NS faults developed in the transitional position of the fold hinge; b. The enlarged view showing the NS faults linked by a series of en echelon rifts; c. The strain distribution in the core of anticline

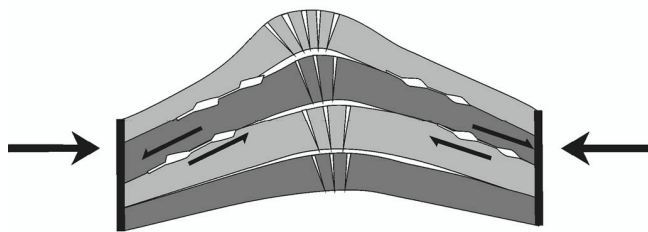


图 6 多层结构地质体纵弯褶皱形变场模式图

Fig. 6 Mode diagram of the multi-layer buckling

基底构造在印支-燕山运动阶段,由于其规模巨大,且平面形态多呈波状,因此更有可能在多个局部部位因拉张而成为深部导流构造(图 7)。但其中的另外一些部位则因受压而闭合,故就其整体而言,沿水平方向的连通程度要远低于沿垂向的连通程度。因此,这类断裂的主要功能应该是导流为主,控矿为辅。

3.2 褶皱与流体的关系

与断裂的导流与控矿作用相比,褶皱构造有其特殊之处。扇形纵张节理,核部虚脱和局部地壳拉薄效应等,是褶皱构造最主要的导流与控矿功能所在。下面分别简述之。其中因背斜顶部扇形张节理与流体关系已讨论,故此从略。

(1) 褶皱核部虚脱构造与流体的关系

纵弯褶皱的发育常常形成顶厚褶皱和相似褶皱。这两类褶皱中的背斜多发育虚脱空间,从而成为有利的导流乃至容矿构造(图 6)。如图 8 所示,在实验模型中,主干背斜和次级背斜的核部均不同程度地出现了沿北东向或北北东向线性延伸的虚脱空间,并共同组成顶部圈闭和结构复杂的导流系统。当其于背斜顶部发育的扇形纵张节理贯通后,还有可能进一步发展成有利的成矿空间(构造)。因此,在次级褶皱的密集发育区,有可能存在复杂的隐伏导流构造或容矿系统,值得在今后工作中注意。

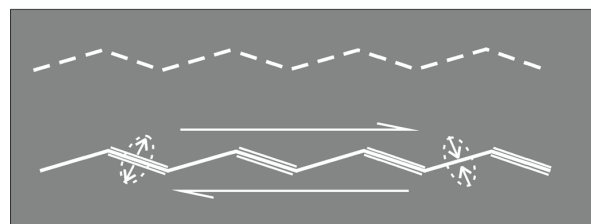


图 7 东西向基底断裂的应力-应变示意图

a. 前期形成的基底隐伏断裂; b. 印支-燕山变形期断裂的应力与应变。应变椭圆内的箭头指向分别指示拉伸和压缩状态

Fig. 7 The stress and deformation mode of E-W striking base ment faults

a. Concealed base ment faults formed in the prior period; b. Stress-strain relation of the base ment faults in Indosinian - Yanshanian period. The arrows in the strain ellipse represent compression or stretching

(2) 局部地壳拉薄效应及其与流体的关系

在褶皱形成过程中,因应力分布的不均一性,可造成中部发生拉伸减薄,为深层岩浆的浅部就位提供了有利条件。区域中部褶皱枢纽的中间分叉现象,即是拉伸作用发生的例证(图1a)。

3.3 多种构造组合控制流体运移

由前述分析可知,北东向延伸的“S”褶皱群及伴生断裂系不仅组成了铜陵矿集区的区域性主体构造,同时也成为区域性导流与控矿网络的基本成分。即使在更次级的局部构造单元中,导流与控矿系统也多为由不同构造形迹所组成的复合型网络。如图8所示,在区内的“S”型褶皱枢纽处,有多达5种不同性质、不同类型的构造共同组成了局部导流系统(图9)。其中,北西向走滑断裂沟通深、浅部通道,北东向顺层滑脱则分隔不同层次。褶皱顶部的南北向次级断裂形成浅层容矿构造,北东向逆冲断裂则扮演了流体贮存的屏蔽。由此可

见,高角度断裂与低角度断裂的性质、方位控矿作用也不相同,低角度断裂的主要控矿作用是分割不同层次的岩浆房,形成成矿物质的汇集系统;高角度断裂主要作用为导流功能,形成流体运移中的梯度系统。

4 结论与讨论

铜陵矿集区燕山期构造-导流系统的组成复杂,作用各异。在不同部位、不同层次和不同构造类型的发育区,其局部构成各有规律。需全面考察构造组合的综合特征才能对其进行准确判断。即使是同一方向的断裂和褶皱,也不能简单断言它们都是不利于成矿的,或都是有利于成矿的。因为同一方向的构造形迹,如果发育于不同的部位和层次,它们的导流与控矿功能就有可能不同。如南北向断裂一般不利于导流,但当其发育于背斜顶部转折端时,则因其力学性质为张剪性而成为良好的导流通道,从而还有可能进一步演变成有利的容矿构造。因此,一种构造形迹是否利于导流和控矿,既要看它的方位和层次,更要看它所处的构造部位和力学性质。但后者又随其方位、方向、层位、规模及空间分布特征(平面、剖面 and 延伸趋势等)而定。不同层次、不同部位的构造形迹组成具深浅沟通、四周输导的三维导流网络,从而进一步影响了区域流体活动的规模、强度与期次。

References

- Chang Y F, Liu X P and Wu Y C. 1991. The Cu, Fe metallogenic belt in the middle-lower reaches of Yangtze River. [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1~379(in Chinese).
- Deng J, Huang D H, Wang Q F, et al. 2004. The formation mechanism of the "Drag Depressions" and the irregular boundaries in intraplate deformation [J]. Acta Geologica Sinica, 78(1):267~272.
- Deng J F, Dai S Q, Zhao H L, et al. 2002. Recognition of magenic systems and subsystems in Tongling Cu-Au (Ag) ore-forming area [J]. Mineral Deposits, 21(4): 317~322(in Chinese with English abstract).
- Huang D H and Zhong G H. 1994. Experimental study and dynamic analysis of Indosinian-Yanshanian regional tectonic deformation in Southeast Hubei [J]. Mineral deposits, 13(4): 209~307(in Chinese with English abstract).
- Pan Y M and Dong P. 1999. The Lower Changjiang (Yangzi/ Yangtze River) metallogenic belt, east central China: intrusion- and wall rock-hosted Cu-Fe-Au, Mo, Zn, Pb, Ag deposits [J]. Ore Geology Reviews, 15(4): 177~242.
- Wu C L, Wang F S, Hao M Y, et al. 2000a. Geochronology of Intermediate-Acid Intrusive Rocks from Tongling, Anhui [J]. Continental Dynamics, 5(1):15~23.
- Xu G and Lin X. 2000. Geology and geochemistry of the Changlongshan skarn iron deposit, Anhui Province, China [J]. Ore Geology Reviews, 16(1~2): 91~106.
- Xu G and Zhou J. 2001. The Xinqiao Cu-S-Fe-Au deposit in the Tongling



图8 背斜核部虚脱部位形成的北东向导流网络图 (实验三结果图示)

Fig.8 Analogue experiment of the fold system at the middle level(Experiment Three)

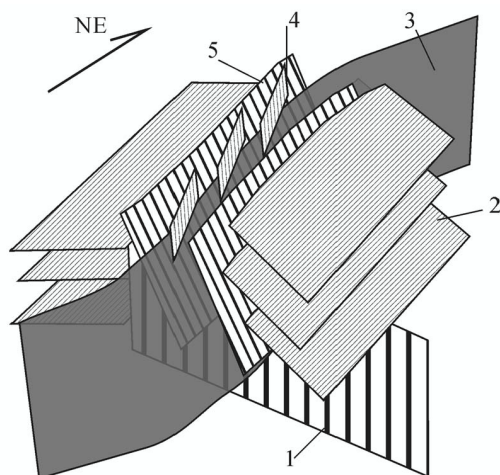


图9 褶皱枢纽部位的控流系统示意图

1—北西向走滑断裂;2—北东向顺层滑脱;3—褶皱轴面;
4—南北向次级断裂;5—北东向逆冲断裂

Fig.9 Sketch map of conduit web in the fold hinge

1—N-W-striking normal fault; 2—NE-striking reverse fault;
3—Fold axial face; 4—Secondary NS-striking fault;
5—NE-striking reverse fault

mineral district, China: synorogenic remobilization of a stratiform sulfide deposit [J]. *Ore Geology Reviews*, 18 (1 ~ 2) : 77 ~ 94 .
 Zhai Y S, Yao S Z and Lin X D. 1992. The metallogenic law of Fe and Cu (Au) in the middle and lower reaches of the Changjiang River [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1 ~ 235 (in Chinese) .

附中文参考文献

常印佛, 刘湘培, 吴言昌. 1991. 长江中下游铜铁成矿带[M]. 北京:

地质出版社. 1 ~ 379 .
 邓晋福, 戴圣潜, 赵海玲, 等. 2002. 铜陵 Cu- Au(Ag) 成矿区岩浆-流体成矿系统和亚系统的识别[J]. *矿床地质*, 21 (4) : 317 ~ 322
 黄定华, 张国胜. 1994. 鄂东西地区印支-燕山期区域构造变形的实验研究与动力学分析[J]. *矿床地质*, 13 (4) : 209 ~ 307 .
 翟裕生, 姚书振, 林新多, 等. 1992. 长江中下游地区铁铜(金) 成矿规律[M]. 北京: 地质出版社. 1 ~ 235 .

Structural Control of Ore-forming Fluid Activities in Shallow Crust of Tongling Ore Concentration Area in Yanshanian Period

Deng Jun¹, Wang Qingfei¹, Huang Dinghua² and Gao Bangfei¹

(1 Key Laboratory of Lithospheric Tectonics and Exploration, China University of Geosciences, Ministry of Education, Beijing 100083, China; 2 China University of Geosciences, Wuhan 430074, Hubei, China)

Abstract

The Tongling ore concentration area experienced the process of early extrusion and late shearing during Indosinian-Yanshanian period, and formed the regional tectonic framework. Meanwhile, the magmatic activity in Yanshanian period was the major factor for the formation of most ore deposits in this area. Therefore, the investigation of the structural control of ore-forming fluid activities in the shallow part of the crust (mainly Mesozoic and Paleozoic strata and the top of basement rocks) during the Yanshanian period is of great significance in the study of regional ore-forming process and prospecting work. Regional structures of this period are very complex and their functions in the control of fluid transportation are different. In order to find out the controlling role played by various structures at different levels and different positions in fluid transportation, the authors performed three analogue experiments, discussed the stress and strain characteristics of the middle-deep level fault system, the sub-surface fold-fault system and the fold system at the middle level, analyzed the fluid transport process in various faults and folds in different directions and different parts, and then constructed the fluid transportation in the 3D controlling web made of faults and folds as well as spatial-temporal transportation of the regional fluid. The study indicates that, due to the weak fold process at the middle-deep level of the shallow crust, the cap rock fault system and basement fault system formed the transporting passage web for the subsurface ore-forming fluid. At the middle-low level, folds and their associated fault system supplied the local positions with the ore-forming fluid due to the strong folding process.

Key words: geology, analogue simulation, ore-forming fluid, ore-controlling structures, basement fault, stress analysis, Tongling ore concentration area