

郯庐断裂带(安徽部分)动力学演化及其构造意义

侯明金¹, 王永敏¹, Jacques MERCIER², Pierre VERGELY²

(1.安徽省地质调查院,安徽 合肥 230001;

2.Geophysique et Geodynamique Laboratoire, Universite de Paris-Sud,91405 ORSAY Cedex, FRANCE)

摘要:依据区域构造层划分,从最新地层内的断裂动力学分析开始,层层深入,层层筛选,采用计算机程序对所获的断层面上擦痕统计分析计算,求得每个点上的古应力场状态,继而求得区域古构造应力场状态。确定发生于各个不同时代断裂活动的古应力场特征。最后确定一个连续的、完整的古应力场演化序列表,结合区域构造变形特征分析,阐明断裂带的构造事件演化序列及其构造意义。

关键词:郯庐断裂带安徽段,断层擦痕,古应力场分析,构造演化序列

中图分类号: P542.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-2552(2003)02-0105-08

郯庐断裂带自1957年被发现以来,已有众多的中外学者对其进行了多学科、多方法的研究,对其发生发展、构造演化、构造属性、运动学及动力学特征等,提出了许多不同认识和见解,主要的认识有:走滑平移断裂带^[1-7]、裂谷带^[8]及其他类型如转换断层等^[9-15]。但郯庐断裂带的古应力场演化的研究成果却较少,且都是定性的、半定量的统计性分析^[4-9,16,17],即通过如雁行的初始张节理系、共轭剪节理系、共轭的韧性剪切带、纵弯褶皱、一组面理与一组线理等的统计定性或半定量的分析,确定断裂带的应力场特征状态以及演化。本文断裂动力学分析采用法国巴黎南方大学地球动力学实验室主任雅克马赛教授及皮埃尔维热利教授等所研制的计算机程序《利用断层面上擦痕的观察、测量计算主应力轴状态》来求得区域构造古应力场状态,进行动力学分析^[18]。此程序工作原理是利用断面上的擦痕的动向矢量测量结果,计算出产生运动的平均应力偏差、应力方向、产状,即计算出应力场3个主应力轴的产状和相对大小。前提条件是假定断面上的擦痕的动向与应力切向分量矢量平行,即 $\tau // p_{\text{pith}}$ (擦痕)^[19]。

根据马赛教授等所总结的此套工作理论、方法的特点,野外资料收集要求从新到老,即从最新地层

内的断裂动力学分析开始,逐步深入,依据区域构造层次划分,层层深入,剥离。如在确定了发生于第四纪的断裂活动应力场特征之后,再深入至第三纪地层,就可以找出发生于第三纪同期及之后的断裂活动应力场特征。以此类推,层层筛选,就可确定发生于各个不同时代的断裂活动的同期及叠加的应力场特征。综合所有的同期应力场特征及辅以叠加的应力场特征来验证,从而也就可以确定一个连续的、完整的断裂活动的应力场演化序列表。近年来,笔者通过野外详细的观察测量,对郯庐断裂带内的一些主干断裂的古应力场状态和演化进行了定量的统计分析,得出了郯庐断裂带的总体古应力场演化序列,结合区域构造变形特征分析,试图阐明断裂带的构造事件演化序列及其构造意义。

1 区域地质概况

郯庐断裂带纵贯中国东部,总体走向北北东,绵延上千千米^[1]。该断裂的安徽部分是指北从五河县大矾山地区,经明光市的石门山,定远县的池河、藕塘、界牌,肥东县的桴槎山、桥头集,向南经庐江、桐城、潜山、太湖、宿松,止于长江北岸的这一段。该断裂带由数条近于平行的主干断裂所组成,从东往西

收稿日期:2002-01-17;修订日期:2002-11-20

地调项目:原地矿部及安徽地矿局资助项目。

作者简介:侯明金(1963-),男,在读博士生,高级工程师,从事构造地质和成矿地质背景研究。E-mail:mingjinhou@hotmail.com

有:五河-合肥断裂、池河-太湖断裂、藕塘-清水涧断裂等,以及与之在某个活动时期有关系的黄栗树-破凉亭断裂、滁河断裂、散兵断裂等^[19]。区域地质简图及SPOT卫片资料解译如图1所示。郅庐断裂带作为一条分划性断裂,在安徽省中北部是华北地块与大别造山带张八岭构造带的边界断裂,在中南

部横切秦岭-大别-苏鲁造山带并将此造山带左行错移^[13-7]。中南部的脆性断裂地貌特征尤其清楚,分划大别造山带和前陆的中、新生代盆地。在前陆的红色盆地和褶皱带内发育有许多与郅庐断裂带平行或近于平行的、可归于郅庐平移断裂系统^[1-3]的断裂。

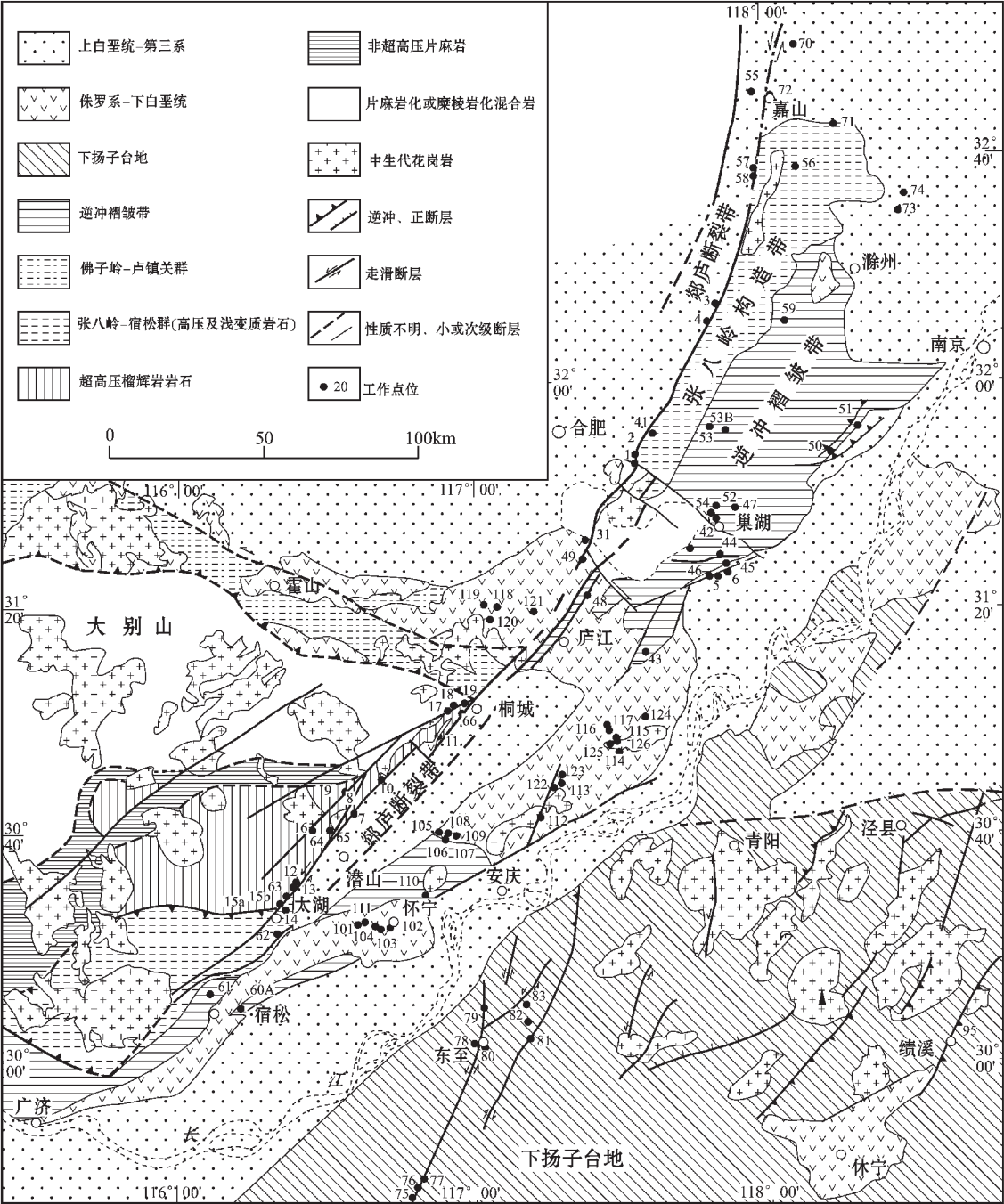


图1 郅庐断裂带(安徽段)及邻区地质、SPOT卫片解译综合图(地质部分据安徽省区域地质志附图改编)

Fig. 1 Comprehensive map showing the geology and SPOT image interpretations in the Tanlu fault zone (Anhui segment) and its adjacent areas

2 野外资料收集的基本工作方法

郟庐断裂带是一条长寿断裂带,经历过长时间、多期次、多性质的运动。不同期次的活动相互叠加、改造,使得断层面的构造要素如擦痕非常复杂,尤其在主干断裂带上,要对其进行分期、配套并确定其形成世代是相当困难的。但是,在大断裂带的旁侧次级断裂内和与之共轭的断裂内可以找到发育很好的擦痕及其他构造要素。本次工作区域主要是郟庐断裂带及东侧地区。

首先,在确定的地质时代的地(岩)层内,找出露很好的发育有擦痕的断裂面,确定擦痕的性质,如若有多组擦痕发育,则仔细分期。分期的主要原则是仔细研究多组擦痕之间的相互叠加关系,确定它们的先后次序,较晚的擦痕则切割、破坏较早的擦痕。早期的方解石生长阶坡在后期相反方向的断裂运动时就会被挤压破碎;早期的槽状擦痕或杆状擦痕会被后期的斜向叠加的擦痕充填或磨平切断等。在一个露头点(如一个采坑或采场内)至少要有15个有效数据。为满足计算机程序精度要求,必须找到共轭的同期的断面上的擦痕,才能较准确地统计求出主应力轴状态。不同期的擦痕必须分开,不能混为一体进行配套计算。分期确定擦痕序次后,进行数据测量,包括擦痕所在断面的各种产状要素、该点的地质资料,如岩石岩性、岩层产状、层序正倒、变形特征等。野外进行初步的配套、赤平投影分析,找出资料的欠缺之处。若某一组缺少共轭体系,就要补充测量,使资料齐全,满足计算程序要求。

野外搜集资料时,特别注意分析导致褶皱、断裂的初始应力场,即寻找褶皱发生初期、岩层为水平时走滑断裂运动所产生的擦痕。这种擦痕的野外特征是:在垂直于岩层面的断层面上寻找擦痕,若擦痕平行于断面与岩层面的交线,则此擦痕为岩层水平时受剪切应力而走滑产生的^[18-20]。若能找到此共轭擦痕体系,即另一个垂直岩层面断层上有平行断面与岩层面交线的擦痕,则可求出断裂发生时的初始应力场状态。这应该是该岩层沉积后所受的最初的应力作用,叠加之上的应力作用则发生于该岩层成岩之后的地质时期。

区域上,通过大量的统计分析,找出每一地质时代的岩层所受的最初应力场,即可以建立一个从

老到新的应力场演化序列表。结合区域地质、构造特征,分析整条断裂带的形成演化史。另外,在一条复杂的多期次活动的断裂带内测量数据时,应找较大的、较稳定延伸的、断裂面上较稳定的擦痕统计测量,分期次记录。大的断裂构造透镜体上的断面及擦痕变化较大,倾向倾角甚至性质都有变化,则避开不测,以免造成计算机统计时复杂化而使结果不准确。本次研究主要涉及三叠系以上所有地质体及地层。

3 郟庐断裂带动力学分析

笔者通过野外近130点的观察、测量,室内结合每个点上的地质构造、变形特征等资料,对野外采集的数据进行统计分析,包括擦痕的再次分期配套、原始产状的旋转恢复、微机程序计算等,对野外所搜集的每个点上的擦痕数据进行计算,获得了每个点上的定量古应力场状态,即3个主应力轴产状。主要点处理结果见表1。表1中所列的各个点的古应力场状态是对发育于每个岩石地层中的断裂的统计分析所得到的应力场状态,有同构造期的,也有后期叠加上的。最上部的岩石地层内的应力场最简单,但是它可以切割、影响到其下伏几乎所有的岩石地层。从表1中可以看出,上覆地层内发育的应力场可以在下伏地层内找到相同的或相似的应力场。采用筛选法,从发育于最上部的岩石地层的应力场开始层层剥离,即可得到发育于不同地质时代的古应力场的演化序列,进而分析断裂带的构造演化序列。

3.1 上新世玄武岩中断裂动力学分析

上新世玄武岩主要分布于明光市东部、来安县、天长市一带(点73)。岩性主要为块状橄榄玄武岩,夹气孔、杏仁状玄武岩。

在来安县城东北长山一带露头很好,采坑多,断裂发育,断裂明显地继承了先存的岩浆冷却收缩所产生的节理面,断裂表现为明显的剪切走滑运动。许多断裂面上皆发育有两个时代的擦痕,序次在野外明显可定,代表了两期构造运动。第一期以走滑构造运动为特征,N-S向伸展,E-W向挤压, $85^{\circ} \angle 10^{\circ}$, $309^{\circ} \angle 76^{\circ}$, $176^{\circ} \angle 10^{\circ}$,近直立;第二期以N48°E走向的伸展作用为主, σ_1 $282^{\circ} \angle 66^{\circ}$,近直立, σ_2 $143^{\circ} \angle 19^{\circ}$, σ_3 $48^{\circ} \angle 15^{\circ}$,近水平。

3.2 中新世火山岩中断裂动力学分析

中新世火山岩主要发育于断裂带的主干带内,明光市城区铸石厂采石场(点72)断裂发育,岩性

为块状、气孔杏仁状玄武岩,构造活动强烈,挤压破碎,断裂面大且平直。经计算处理后得到结果是 σ_1 $99^\circ \angle 13^\circ$, σ_2 $230^\circ \angle 71^\circ$, σ_3 $6^\circ \angle 14^\circ$ 。此点处于郟庐断裂带内,主断裂走向近南北,表现为挤压兼左行平移运动,NW向断裂右行、左行皆有,基本上走向平行于 σ_1 方向;而NE向断层则以右行兼挤压活动为特征。

3.3 始新世玄武岩内断裂动力学分析

始新世玄武岩主要沿郟庐断裂带内发育,明光市城北岗集一带出露很好(点55),采石场分布广泛。擦痕由蛇纹石纤维组成。根据两组擦痕的统计测量,计算处理后可得到始新世之后的两期构造运动应力场特征。早期伸展走滑构造幕 σ_1 $116^\circ \angle 10^\circ$, σ_2 $276^\circ \angle 79^\circ$, σ_3 $25^\circ \angle 4^\circ$,NE向伸展,郟庐断裂带此时期此处的走向是N5°E,左行走滑运动;晚期走滑构造幕 σ_1 $80^\circ \angle 32^\circ$, σ_2 $275^\circ \angle 72^\circ$, σ_3 $174^\circ \angle 8^\circ$,表现为近E-W向挤压,近南北向伸展,右行走滑运动,相对大小 $\sigma_3 > \sigma_1$ 。因此,以伸展为主。

3.4 晚白垩世—古新世岩石内断裂动力学分析

郟庐断裂带南段控制着潜山红盆的西界,潜山盆地内充填了晚白垩世—古新世的沉积物,主要为红色砾岩、砂岩等。边界主断裂走向N50°~60°E,倾向南东45°~60°,在晚白垩世—古新世时期出现很重要的垂直运动,伴随潜山盆地4 000m以上的沉降和大别山变质杂岩的隆升。在观测点7和10处,变质岩和古新世岩石直接接触面出露很好(潜山余井西)。在这两个点的野外观测中,我们在主断面上区分出3个时代的断层擦痕。第一期擦痕以擦沟为标志,指示一个强烈的正断滑动,与NW-SE向伸展作用对应,这一运动是郟庐断裂带南段最重要的一期运动,既是主断裂带上断层崖的形成又是晚白垩世—古新世潜山盆地沉降的西部控制断裂;第二期指示着左行走滑运动,伴有正断分量,第三期擦痕很细小,指示为右行滑动,

表1 郟庐断裂带(安徽段)应力场状态统计结果

Table 1 The stress stage of the Tan-Lu fault zone(Anhui segment)

断 裂 作 用 影 响 到 的 地 层 时 代	N ₂					
	N ₁					
	E ₂					
	E ₁	同沉积 N40-50 	N50 			N45
	K ₂	同沉积 N30 	N30 			
	K ₁	同沉积 N0 	褶皱后 NW N355 		褶皱前、后(1) N318 N30 	
	J ₃	NW 	N306 			
	J ₂	倾斜前、同沉积 N30 		倾斜前 N350 N53 		倾斜后 N71
	J ₁	同沉积 N65 		倾斜后 N30 N37 N130 	倾斜前 N233 N100-128 N150-180 	
	T ₁	褶皱前 N70-90 	褶皱后 N170 N140 			
断裂性质		正	断	逆	冲	走
构造状态		伸	展	挤	压	正断兼走滑

注:(32、45)等为代表性的点上的计算结果

且有正断分量。最后一期擦痕最新,可能是郟庐断裂带上地震运动的产物。

3.5 晚白垩世岩石内断裂动力学分析

晚白垩世岩石主要为红色砂砾岩、泥岩夹层或透镜体,沿郟庐断裂带,以肥东桥头集一带(点1、2)出露最好。岩层的层理在近主断裂带处被强烈地掀斜,倾角60°~85°,向盆地内渐变缓,直至水平。明显的同沉积断裂、逆冲断裂及正断层发育。

在点2处(桥头集十八拱北),同样的断层发育,但被掀斜且无擦痕。根据断层走向、倾角、断距、倾向与地层倾向的关系,断层运动是在地层倾斜之前,属同沉积断层,之后被掀斜。显然,同沉积断层是晚白垩世伸展作用的标志,说明E-W至SEE-NWW方向

的伸展作用在晚白垩世是存在的,在此期间(K_2 时期),郟庐断裂主带有强烈的正断滑动。

晚白垩世岩层内擦痕处理结果有3期:早期同沉积伸展,NW-SE向($105^\circ\sim 142^\circ E$),中期近东西向挤压,导致岩层掀斜,后期NE-SW向伸展。

3.6 早白垩世岩石内断裂动力学分析

在界牌集北东出露的红色砂砾岩中(第3点),NNE向郟庐断裂带内5 km宽度范围内主要发育NW-SE向断层,横切了早白垩世红层。岩层已被掀斜,西倾,倾角 $35^\circ\sim 40^\circ$ 。断层运动学显示4期应力场作用。早期近N-S向伸展,同沉积正断层发育,2组数据显示NW向断层的同沉积正断。反映此处早白垩世盆地为N-S向伸展拉分形成的。第二期断层擦痕已被掀斜,系岩层水平时走滑作用所致。此组擦痕恢复原始产状后统计分析结果是 $\sigma_1 318^\circ\angle 1^\circ$, $\sigma_2 58^\circ\angle 82^\circ$, $\sigma_3 228^\circ\angle 8^\circ$,以NW-SE向压缩、NE-SW向伸展为特征, σ_2 近直立, σ_1 、 σ_3 近水平,NW-SE向断层右旋走滑,郟庐主干断裂此期则为左旋走滑。第三期擦痕统计结果是 $\sigma_1 137^\circ\angle 9^\circ$, $\sigma_2 265^\circ\angle 75^\circ$, $\sigma_3 45^\circ\angle 11^\circ$ 。与第二期基本相同,可能为同一构造应力场的持续作用,导致岩层掀斜,NW向断层右旋走滑,NE向郟庐断裂左行走滑。第四期擦痕统计结果是 $\sigma_1 96^\circ\angle 64^\circ$, $\sigma_2 263^\circ\angle 26^\circ$, $\sigma_3 355^\circ\angle 5^\circ$,显示一个挤压轴倾斜陡立、拉伸轴近水平、以N-S向伸展为主的应力场特征。NW向断层大幅度正断,NNE向郟庐断裂带也是正断兼右旋运动。晚白垩世—古新世期间大幅度NW-SE向伸展作用在NW向断层上表现为正断兼走滑,但擦痕不发育。

3.7 晚侏罗—早白垩世火山岩中断裂动力学分析

早白垩世—晚侏罗世火山岩在郟庐断裂带沿线相当发育,特别是南段桐城挂车、舒城军埠、庐江白山—袁家山一带;前陆带内的怀宁石碑—高河一带,庐枞火山岩盆地等大量发育。

点11处为砖桥组火山岩。擦痕统计分析表明具两期构造运动,早期应力场是 $\sigma_1 170^\circ\angle 2^\circ$, $\sigma_2 264^\circ\angle 70^\circ$, $\sigma_3 78^\circ\angle 20^\circ$,以 $N170^\circ E$ 方向挤压为特征,导致NNE方向的郟庐断裂左行平移;第二期仅表现为NW-SEE方向的伸展作用,正符合于晚白垩世—古新世期间郟庐断裂带上的NW-SE方向伸展,是其叠加于早白垩世岩层之上的结果。

舒城军埠北公路西采石场(点119),岩石为玄武岩,节理发育,多期断裂作用发育。擦痕统计结果

是:早期 $\sigma_1 291^\circ\angle 14^\circ$, $\sigma_2 148^\circ\angle 72^\circ$, $\sigma_3 23^\circ\angle 10^\circ$,以NNW向挤压、NNE向伸展为特征。点上还发育有许多NW走向的张裂脉与之配套,郟庐断裂左行走滑。晚期 $\sigma_1 226^\circ\angle 12^\circ$, $\sigma_2 68^\circ\angle 77^\circ$, $\sigma_3 318^\circ\angle 5^\circ$,以NW-SE向伸展为特征,与晚白垩世—古新世期间的郟庐正断伸展吻合。

庐江袁家山—白山一带为毛坦厂组火山凝灰岩、凝灰质角砾岩等(点37)。此点正处于郟庐断裂主带内,NE、NNE向断裂发育,擦痕粗大,袁家山处断层壁上的擦痕长的几米。擦痕可明显分为两组,计算结果是:早期 $\sigma_1 352^\circ\angle 28^\circ$, $\sigma_2 160^\circ\angle 61^\circ$, $\sigma_3 259^\circ\angle 10^\circ$,以近N-S向、倾向W的挤压为主。郟庐断裂带表现为强烈的左行走滑运动。晚期 $\sigma_1 92^\circ\angle 79^\circ$, $\sigma_2 214^\circ\angle 6^\circ$, $\sigma_3 306^\circ\angle 9^\circ$, σ_1 近直立,以NNW向的近水平伸展为主导,郟庐断裂带产生大幅度的正断,与晚白垩世—古新世时期的伸展吻合。

怀宁李店(点101,111)处为火山碎屑岩等。111点断层擦痕计算结果表明有两期构造应力场存在。早期应力场 $\sigma_1 98^\circ\angle 3^\circ$, $\sigma_2 337^\circ\angle 85^\circ$, $\sigma_3 188^\circ\angle 5^\circ$,以近南北向伸展为特征。晚期应力场 $\sigma_1 341^\circ\angle 8^\circ$, $\sigma_2 141^\circ\angle 81^\circ$, $\sigma_3 250^\circ\angle 3^\circ$ 。NW向挤压,NE-SW向伸展,产生一系列平移断层。郟庐主断裂左行平移。早期的南北向伸展可能正是怀宁火山盆地的形成机制——郟庐左行平移的开始,东侧后缘处于南北向伸展派生应力场中,产生拉分盆地,火山喷发。庐枞火山岩盆地的形成机制亦可能如此。

合铜公路沿线庐江翼青李家洼分布有早白垩世火山熔岩、粗面岩和粗玄岩(点116、117)。116,117两点综合分析处理结果与117点单独分析处理结果基本一致,前者 $\sigma_1 309^\circ\angle 4^\circ$, $\sigma_2 191^\circ\angle 82^\circ$, $\sigma_3 39^\circ\angle 7^\circ$;后者 $\sigma_1 309^\circ\angle 16^\circ$, $\sigma_2 81^\circ\angle 67^\circ$, $\sigma_3 215^\circ\angle 17^\circ$ 。不同之处是倾角变化,走向是一致的。野外资料表明,此期应力场是前期正断层的再活化,只是性质不同,许多断裂擦痕发育在张性角砾岩上,早期拉张应力场不好确定,也许与其他点上的N-S向伸展一致,导致火山岩盆地的形成。后期应力场很明显以NW向压缩、NE向伸展为特征, σ_2 近直立,与NNE向郟庐断裂带的左行平移运动相一致。

3.8 中侏罗世岩石中断裂动力学分析

郟庐断裂带沿线中侏罗世岩石出露不多,仅在枞阳县城北黄泥岗及无为县昆山一带露头及采坑内搜集到有关数据。枞阳城北黄泥岗(点112):岩性为

灰白色块层状石英砂岩、泥岩等,其内断层发育,早期小的正断拉分盆地发育,表明早期有伸展作用存在,近南北向。断裂擦痕统计资料处理结果为 σ_1 , $162^\circ \angle 6^\circ$ σ_2 , $280^\circ \angle 76^\circ$ σ_3 , $71^\circ \angle 12^\circ$, 表现为NNW向挤压、NEE向伸展 σ_3 近直立。枞阳会宫拔茅山(点113、122)岩性为黄绿色厚层状夹薄层状砂岩、泥页岩,所搜集的资料大部分为岩层倾斜前的数据,计算结果是:113点 σ_1 , $121^\circ \angle 12^\circ$ σ_2 , $282^\circ \angle 78^\circ$ σ_3 , $30^\circ \angle 4^\circ$; 122点 σ_1 , $350^\circ \angle 18^\circ$ σ_2 , $135^\circ \angle 69^\circ$ σ_3 , $256^\circ \angle 11^\circ$; 124点 σ_1 , $309^\circ \angle 12^\circ$ σ_2 , $101^\circ \angle 77^\circ$ σ_3 , $218^\circ \angle 6^\circ$, 中间轴皆近直立,表现为NW向挤压、NE向伸展。与总应力场一致,倾斜前与倾斜后的应力场基本上同属统一应力场,没有太大变化,连续过渡。

3.9 早侏罗世岩石中断裂动力学分析

应力场分析工作主要在怀宁—安庆一带。

石碑砖瓦厂采坑(点102)、白桥(点103)这些点处为紫红色、灰白色中厚层石英砂岩、砂岩、砾岩,采坑内断裂发育。点102:擦痕统计处理结果是 σ_1 , $135^\circ \angle 20^\circ$ σ_2 , $324^\circ \angle 70^\circ$ σ_3 , $226^\circ \angle 3^\circ$; 点103 σ_1 , $130^\circ \angle 15^\circ$ σ_2 , $272^\circ \angle 71^\circ$ σ_3 , $37^\circ \angle 11^\circ$,与102点基本一致。NW向挤压,NE向伸展,此应力场为岩层倾斜后的应力场,与区域应力场基本一致。

怀宁高河狮子山(点107)、泉水山(点105)岩性为乳白色中厚层石英砂岩,采坑内断裂发育。点107大部分所观察到的断层为同沉积断层,擦痕多为正断性质,统计结果是 σ_1 , $333^\circ \angle 7^\circ$ σ_2 , $222^\circ \angle 73^\circ$ σ_3 , $65^\circ \angle 16^\circ$,以伸展为主,说明在下侏罗统沉积过程中有同期近NE向的伸展,但应力场与区域应力场一致。与后期郯庐断裂带左行平移应力场也基本一致,说明郯庐断裂带的左行平移可能始于早侏罗世。

泉水山断裂面上的擦痕多为岩层倾斜前产生的,根据擦痕计算出的应力场为岩层倾斜前的应力场 σ_1 , $328^\circ \angle 8^\circ$ σ_2 , $73^\circ \angle 60^\circ$ σ_3 , $233^\circ \angle 29^\circ$,以NW向挤压为主导,与总体区域应力场相一致。

3.10 早三叠世岩石中断裂动力学分析

郯庐沿线,中上三叠统发育不理想,只在安庆地区月山、五横一带有出露,但断裂发育不佳,仅为节理,无明显断裂及擦痕发育,仅发现有2组擦痕2条数据。不足以定量分析确定应力场。早三叠世岩石在郯庐沿线及邻区广泛发育。

巢湖散兵(点32)散兵一带采石坑特别多,早三叠世灰岩内发育各种构造变形形迹,有小褶皱、方

解石张裂充填脉、断裂擦痕等。露头上,根据方解石脉的充填型式及组合形态统计分析,褶皱前就存在一期近东西向的伸展作用,后期应力场统计计算结果是 σ_1 , $342^\circ \angle 8^\circ$ σ_2 , $149^\circ \angle 82^\circ$ σ_3 , $251^\circ \angle 2^\circ$,以NNW向挤压、NEE向伸展为特征,也许两者为统一应力场的不同时期,稍有变化。

巢湖平顶山(点42)、巢湖城西,采坑遍布。岩性为薄层状、中层状灰岩、泥质灰岩,褶皱、断裂发育。大部分擦痕为岩层褶皱前产生的。应力场为 σ_1 , $310^\circ \angle 2^\circ$ σ_2 , $205^\circ \angle 83^\circ$ σ_3 , $40^\circ \angle 7^\circ$,表现为NW向挤压、北东向伸展的构造应力场状态,后期产生褶皱,褶皱轴总体呈NE向延伸。巢湖地区早三叠世岩石(点43~46、51点)内的应力场统计分析基本上属同一类型,早期NW-SE向挤压,产生NE向褶皱。在小林拐(点45)及刘林(46点)等地还有后期NW向的伸展。

4 郯庐断裂带中生代以来的构造事件序列及构造意义

4.1 郯庐断裂带中生代以来的构造应力场序列

郯庐断裂带内及邻区中生代以来地层内的构造应力场特征及断裂运动特征见表1所示。对构造事件应力场序列分析如下。

早三叠世之后到早中侏罗世之前,扬子地块北缘处于斜坡地带,具近东西向 $N70^\circ \sim 90^\circ E$ 的伸展作用。早中侏罗世,为NW、NNW向挤压及NE、NEE向伸展作用,中下侏罗统为前陆盆地沉积,NW向挤压,NE向伸展,同沉积伸展构造发育。中侏罗世末期,受NW向挤压作用影响,中下侏罗统地层内开始产生褶皱前共轭平行断裂系统。晚侏罗世—早白垩世早期为NNE、近N-S向伸展作用,发育近N-S向拉分小红盆(下白垩统沉积红层),同时下白垩统内同沉积伸展作用和NW向正断层发育。早白垩世晚期为NW-SE向挤压作用。实际上这一挤压作用自早侏罗世就开始发育,在早白垩世晚期达最强。晚白垩世—古新世,为NW-SE、NWW-SEE方向的强烈伸展作用。始新世—中新世为NE-SW向伸展。中新世之后,NWW向挤压,挤压作用较强,挤压方向由NWW→E-W→NEE。上新世NWW-SEE向挤压,NNE向伸展作用。综上所述,郯庐断裂带中生代以来主要有4期应力场作用:NE、NNE-SW、SSW方向的伸展作用;NW-SE向的挤压作用;NW-SE向的伸展作用;NWW-SEE、近E-W向的挤压作用。

第一期伸展作用发生在印支期至燕山早期,是扬子地块与华北地块对接、碰撞造山作用的动力场,是扬子前陆褶皱带形成的动力背景;后3期应力场对应于郯庐断裂带著名的3期活动:早期左行走滑、中期伸展正断(地堑或陆内裂谷)、晚期挤压逆冲兼右行走滑^[13 14 67]。

4.2 构造意义

4期应力场所对应的构造运动及反映的构造意义分析如下。

(1)印支期:早三叠世沉积之后,华南地块与华北地块的对接发生,江南古陆隆起,扬子地块北东缘处于斜坡地带,岩层重力滑动,产生一种近东西向的伸展作用,各种同构造期构造现象发育,盆地萎缩,开始接受中晚三叠世湖相沉积^[9 21]。随着对接的进一步发展,由于扬子地块的北东缘原本就有一个北东向的延伸^[9 10],斜向碰撞发生,碰撞的对接带就成了广义的郯庐断裂带,只是此时的性质是逆冲推覆性质,伴随有韧性变形作用的发育,如张八岭构造带的糜棱岩化作用等,NE向的前陆褶皱带发育。早中侏罗世,陆陆俯冲碰撞进一步发展,剪切应力分量加强,走滑型的郯庐断裂的雏形发育,前陆盆地发育,在早中侏罗世盆地内同沉积的小型拉分盆地发育,NW-SE向的挤压派生NE、近S-N向的局部伸展应力场分量。反映了区域上的左行剪切作用。

(2)燕山早期:为走滑型郯庐断裂的主活动期。晚侏罗世—早白垩世早期:NNE、近N-S向伸展作用和火山喷发阶段。基底开始有左行走滑分量发生,郯庐断裂带东侧后缘即怀宁—庐枞地区产生拉分伸展,大规模火山喷发,火山盆地形成。在张八岭地区郯庐断裂带内则产生较大规模的岩浆侵入,管店岩体锆石U-Pb年龄为 $(128 \pm 1)\text{Ma}$ ^[22],瓦屋刘和瓦屋薛岩体的黑云母 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 坪年龄分别为 $(127.87 \pm 0.46)\text{Ma}$ 和 $(120.00 \pm 0.50)\text{Ma}$ ^①,属早白垩世。近N-S向拉分小红盆(早白垩世沉积红层)和盆内同沉积伸展作用发育,NW向正断层发育。北西-南东向的挤压构造应力场,使原来的郯庐断裂发生了强烈的左行平移运动。伴随强烈的平移运动,沿断裂带发育了大规模的岩浆侵入、喷出活动。平移剪切产生了强烈的糜棱岩化作用,时代亦属燕山期^[23 24]。沿断裂带发育了一些小型的早白垩

世同构造山间拉分盆地,如章广、界牌等盆地。

早白垩世晚期:NW-SE向挤压作用。郯庐断裂左行平移大规模开始,左行走滑断裂体系形成,为平移断裂带主要活动期。应力场分析推断的时代与最新的年代学资料完全吻合^[24]。在早白垩世晚期达最强,断裂带强变形,左行走滑作用发育,规模很大。

(3)燕山晚期:晚白垩世—古新世,发育NW-SE、NWW-SEE方向的强烈伸展作用,为郯庐断裂带大规模伸展阶段,即裂谷或地堑发育阶段。潜山红盆、合肥盆地等发育巨厚的晚白垩世—古新世红层沉积,同沉积伸展构造发育,导致郯庐断裂带裂谷或地堑的形成。古太平洋板块斜向俯冲于欧亚大陆之下,地幔上隆,地壳伸展,沿郯庐断裂带发生NW-SE向大规模的正断作用,晚白垩世—古近纪地堑式断陷盆地发育,同沉积正断,断裂深切达壳幔过渡带,伴生有玄武岩的大规模喷溢,断陷盆地内沉积了数千米的红层,反映了伸展作用的规模巨大。始新世—中新世NE-SW向伸展:裂谷阶段进一步发育,晚白垩世—古新世岩石遭受正断走滑作用,始新世—中新世玄武岩沿郯庐断裂喷发。

(4)喜马拉雅期:为挤压作用期,郯庐断裂带发育逆冲兼小规模右行运动。中新世之后,NWW向挤压作用使始新世—中新世玄武岩内产生走滑运动,郯庐断裂带以左行走滑为主,但规模不大,挤压作用较强,挤压方向由NWW→E-W→NEE向。上新世NWW-SEE向挤压、NNE向伸展作用影响始新世—中新世玄武岩,NNE向郯庐断裂挤压兼左行走滑。上新世玄武岩内右行走滑作用发育。太平洋板块近正向俯冲于欧亚大陆之下,产生近东西向的挤压作用,断裂切入深达上地幔,基性玄武岩喷溢,并带有地幔的包体^[25]。郯庐断裂带现为中国东部一条重要的地震活动带。

原地矿部国际合作司陈有芳处长、安徽地质矿产局常印佛院士、周云生局长、唐永成教授、盛中烈教授、何义权处长、朱鸿吉高级工程师等给予指导和帮助。法方及本文第一作者在法工作期间得到法国国家科研中心及巴黎南大学等的资助与支持。参加工作的还有张岳桥、张勇和黄德志等。在此一并表示诚挚的感谢。

① 牛漫兰. 郯庐断裂带中南段岩浆活动与深部过程. 合肥工业大学博士论文, 2001.

参考文献:

- [1] 徐嘉伟. 郯城庐江平移断裂系统[J]. 构造地质论丛, 1984 (3): 18~32.
- [2] 徐嘉伟, 马国锋. 郯庐断裂带研究十年回顾[J]. 地质论评, 1992, 38(4): 316~324.
- [3] Xu J W. The Tancheng-Lujiang Wrench Fault System[M]. Chichester: John Wiley and Sons Ltd., 1993.177~183.
- [4] 朱光, 徐嘉伟. 郯庐断裂带的平移幅度、平移时代及其构造模式[A]. 见: 郑亚东主编. 第30届国际地质大会论文集[C]. 北京: 地质出版社, 1998.167~175.
- [5] 朱光, 徐嘉伟. 郯庐断裂带与大别-胶南造山带的构造关系[A]. 见: 构造地质学-岩石圈动力学研究进展[C]. 北京: 地震出版社, 1999.164~169.
- [6] 王小凤, 李中坚, 陈柏林, 等. 郯庐断裂带[M]. 地质出版社, 2000.1~374.
- [7] 王小凤, 李中坚, 陈柏林, 等. 郯庐走滑断裂系的形成演化及其地质意义[A]. 见: 郑亚东主编. 第30届国际地质大会论文集[C]. 北京: 地质出版社, 1998.176~196.
- [8] 许志琴. 郯庐裂谷系概述[J]. 构造地质论丛, 1983 (3): 56~65.
- [9] 安徽省地质矿产局. 安徽省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1987.501~506.
- [10] 李自堃, 袁洪亮. 郯城-庐江断裂带某些地质构造问题的探讨[J]. 构造地质论丛, 1983 (3): 9~17.
- [11] Stuart A Gilder, P Herve Kleloup, Vincent Courtillot, et al. Tectonic evolution of the Tancheng-Lujiang (Tan-Lu) fault via Middle Triassic to Early Cenozoic paleomagnetic data [J]. Journal of Geophysical Research, 1999, 104(B7): 15, 365~15, 390.
- [12] Zhang-Xiang Li. Collision between the North and South China blocks: A crustal-detachment model for suturing in the region east of the Tanlu fault[J]. Geology, 1994, 22: 739~742.
- [13] Stuart A Gilder, Vincent Courtillot. Timing of the North-South China collision from new middle to late Mesozoic paleomagnetic data from the North China Block[J]. Journal of Geophysical Research, 1997, 102(B8): 17, 713~17, 727.
- [14] A Nie S Y. An indentation model for the North and South China collision and the development of the Tan-Lu and Honam fault system, eastern Asia[J]. Tectonics, 1993, 12(4): 801~813.
- [15] Schmid J C, Ratschbacher Lothar, Hacker B R, et al. How did the foreland react? Yangtze foreland fold-and-thrust belt deformation related to exhumation of the Dabie Shan ultrahigh-pressure continental crust (eastern China) [J]. Terra Nova, 1999, 11: 266~272.
- [16] 万天丰. 古构造应力场[M]. 北京: 地质出版社, 1988.156.
- [17] 万天丰. 中国东部中、新生代板内变形构造应力场及其应用[M]. 北京: 地质出版社, 1993.1~103.
- [18] 侯明金, 王永敏. 断裂带的动力学分析——《利用断层面上擦痕的观察、测量计算主应力轴状态》方法简介[J]. 安徽地质, 2002, 12(2): 81~86.
- [19] Jacques M, Pierre V. Tectonique[M]. Collection of Geosciences Dunod, Paris, 1992.1~214.
- [20] Zhang Y Q, Vergely P, Mercier J L. Active faulting in and along the Qinling Range (China) inferred from SPOT image and extrusion tectonics of south China[J]. Tectonophysics, 1995, 243: 89~95.
- [21] 冯增昭, 鲍志东, 李尚武, 等. 中国南方早中三叠世岩相古地理[M]. 石油工业出版社, 1997.1~162.
- [22] 李学明, 李彬贤, 张翼, 等. 安徽管店岩体的同位素地质年龄和郯庐断裂的动力变质作用[J]. 中国科技大学学报, 1985 (增刊): 254~261.
- [23] 朱光, 徐嘉伟, 孙世群. 郯庐断裂带平移时代的同位素年龄证据[J]. 地质论评, 1995, 41(5): 452~456.
- [24] 朱光, 宋传中, 王道轩, 等. 郯庐断裂带走滑时代的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年代学研究及其构造意义[J]. 中国科学(D辑), 2001 (3): 250~256.
- [25] 金淑燕, 潘顺安. 女山玄武岩中尖晶石-石榴石-辉橄岩包体及其岩石物理意义[J]. 地球科学, 1998, 23(5): 475~479.

Dynamic evolution and tectonic significance of the Tanlu fault zone (Anhui segment)

HOU Mingjin¹, WANG Yongmin¹, Jacques MERCIER², Pierre VERGELY²

(1. Anhui Geological Survey, Hefei 230001, Anhui, China;

2. Géophysique et Géodynamique Laboratoire, Université de Paris-Sud, 91405, Orsay Cédex, France)

Abstract: According to the regional tectonic layer division and proceeding from a dynamic analysis of faults in the youngest strata, analysis was performed layer by layer along the Tanlu fault zone. Through statistical analysis and calculation of striations on fault planes by means of the computer program, the paleostress state at every point is obtained, and then the state of the regional paleostress field is obtained. After that, the characters of paleostress fields in which fault movements occur in different periods of time can be determined. Finally a complete and successive evolutionary sequence of the paleostress field can be determined. On that basis, combined with an analysis of the features of regional tectonic deformation the sequence of tectonic events occurring in the fault zone and its significance can be elucidated.

Key words: Tanlu fault zone; fault striation analysis of paleostress field; sequence of tectonic evolution