

断裂多期活动及其研究意义

刘志刚 崔洪庆

孙殿卿

(阜新矿业学院)

(中国地质科学院地质力学研究所)

摘 要 本文从断层多期活动的客观存在出发,在理论和实验两个方面论述了断层多期活动的必然性,并提出了对断裂多期活动研究的方法、途径和意义。

关键词 断层 多期活动 应力场

1 断裂多期活动的客观存在

断层多期活动是国内外,特别是国外构造地质学界尚未引起足够重视的重大学术问题,它的深入研究将给构造地质学和与之相关的其它地质科学的发展带来重大变革。实际上,除晚近时期形成的规模很小或已经“愈合”的老断层外,地壳中,特别是在构造活动相对强烈的中国大部地域内,绝大多数断裂都经历过2次或2次以上的构造活动,具有复杂的力学性质、多变的位移方式或断层性质,这已为广大地质工作者,特别是煤田、矿山地质工作者所共识。以规模巨大、斜切我国东部的郯庐断裂为例,它既有显示断层经历过强烈挤压的逆冲断层、褶皱群,又有显示断层经历过拉张、上盘张滑断陷形成的白垩纪盆地群,还有断层强烈左行平移的大量证据;在矿田构造研究中,那些兼有压冲逆断层、张滑正断层、扭性平移断层特征的大、中、小断层更是不胜枚举。

2 断裂多期活动的理论依据

(1) 在漫长的地史时期内,同一地区的地壳运动,地应力场不是一成不变的。以中国东部东北区、华北区为例,在前震旦纪时期,地壳运动主要表现为近SN挤压,地应力场以近水平、SN向的最大主压应力 σ_1 占主导地位,形成纬向构造体系和不同规模的EW向构造带;震旦纪至古生代,地壳运动表现为SN左行直扭,地应力场以近水平、NW—SE向的最大主压应力 σ_1 占主导地位,形成华夏系和NE45°—50°左右的隆起、拗陷;三叠纪早期,地壳运动和地应力场与前震旦纪相似,纬向构造体系得以加强和最后定型;中三叠世至侏罗纪,地壳运动主要表现为SN左行直扭伴有EW挤压,地应力场以近水平、NWW—SEE向最大主压应力 σ_1 占主导地位,形成早新华夏系和NE30°—35°左右的隆起、拗陷;在早白垩世、晚白垩世和早第三纪时期,地壳运动相对平缓,表现为SN右行直扭并伴有EW向拉伸,地应力场以近水平、NWW—SEE向的最大主压应力 σ_3 占主导地位,形成NWW系构造以及大量的NNE向断陷盆地;而在早、晚白垩世之间、晚白垩世与早第三纪之间和早、晚第三纪之间的地史时期,地壳运动和地应力

场类似于中三叠世至侏罗纪时期,形成中新华夏系和规模巨大的 NE18°—25°左右的隆起山脉和沉降带;在晚第三纪,地壳运动与地应力场类似早、中新华夏系形成时期的地壳运动、地应力场特征,形成晚新华夏系和穿透能力很强、具有强烈左行特征的 NE10°—15°左右的压冲断层和宽缓的 NNE 向拗陷型盆地;在第四纪以来的晚近时期,地壳运动表现为 SN 右行直扭伴有 EW 向挤压,地应力场以近水平、NEE—SWW 向最大主压应力 σ_1 占主导地位,形成时代最晚的 NNW 系构造。再以阜新、平庄、铁法早白垩世聚煤盆地为例,盆地形成时期主要受控于 NWW 系,是成盆期主要构造;而在盆地形成和聚煤之后又叠加了中、晚新华夏系和 NNW 系构造,它们则属成盆后构造。总之,不同方式、方向地壳运动和地应力场多次在同一地区叠加是断层多期活动的先决条件。

(2) 材料力学理论表明,材料中的孔隙、破裂是材料破坏的弱带或弱面,在外力作用下,这些弱带、弱面常常造成局部应力集中(图 1)。在一个地区存在多期不同方式、方向地壳运动和不同性质地应力场叠加时,先期形成的断层就成为该区的弱带或弱面。在没有“愈合”的条件下,这些先存断层必然是先活动,并且具有不同于先期的力学性质和断层位移方式;在后期构造应力场产生的新断层面方位与先期断层面走向夹角不大时($<15^\circ$),新断裂、新断层将不再产生,而是沿着方向相近的早期裂隙或断层释放应力,使早期断层重新活动。多纳斯(Donath, 1961)对各向异性岩石进行的压缩实验表明,当劈理、层理等岩石中的弱面与挤压轴夹角为 $30^\circ—60^\circ$,破裂多沿原有弱面产生,不再形成新的破裂面。这表明早期破裂面在一定范围内影响应力作用,即以其本身再活动方式来释放应力;如果先后两期构造应力场不同,必然造成不同性质的断层再次活动。

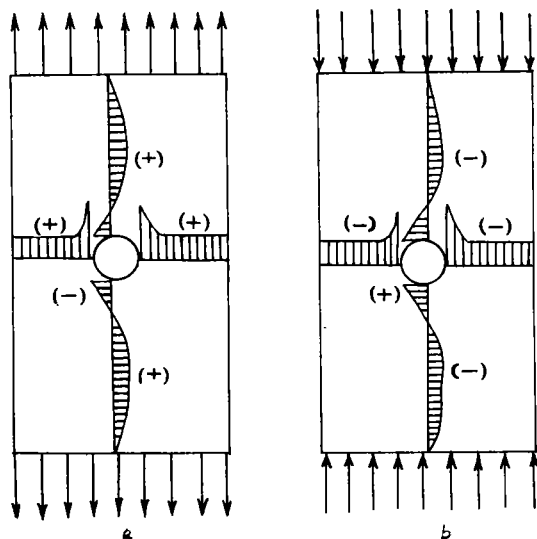


图 1 试件在拉力(a)压力(b)作用下,在空穴附近产生的应力集中现象

Fig. 1 Stress concentration phenomenon subjected a specimen to tension(a) and compression(b)

(+)表示张应力;(-)表示压应力

3 断裂多期活动的实验验证

以阜新盆地光弹模拟实验研究为例,将刻划有成盆前盆地盆缘断裂网络(纬向系和早新华夏系)的光弹模型置于万能材料实验机上,在模型边界上按 NWW 系和中新华夏系构造应力场分别施压,求解断裂网络应力作用方式的变化。

求解采用《断裂力学》中 Westergaard 函数解析解,得出平面问题断裂尖端附近 $r/a \ll 1$ 的邻域内应力分量的普遍表达式:

$$\sigma_x = \frac{1}{\sqrt{2\pi r}} \left[K_I \cos \frac{\theta}{2} \left(1 - \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2} \right) + K_{II} \sin \frac{\theta}{2} \left(2 + \cos \frac{\theta}{2} \cos \frac{3\theta}{2} \right) \right] - \sigma_{ox}$$

$$\sigma_y = \frac{1}{\sqrt{2\pi r}} \left[K_I \cos \frac{\theta}{2} \left(1 + \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2} \right) + K_{II} \sin \frac{\theta}{2} \cos \frac{\theta}{2} \cos \frac{3\theta}{2} \right]$$

$$\tau_{xy} = \frac{1}{\sqrt{2\pi r}} [K_I \sin \frac{\theta}{2} \cos \frac{\theta}{2} \cos \frac{3}{2}\theta + K_{II} \cos \frac{\theta}{2} (1 - \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3}{2}\theta)]$$

式中: K_I 为 I 型断裂的应力强度因子 ($\text{kg}/\text{cm}^{3/2}$); K_{II} 为 II 型断裂的应力强度因子 ($\text{kg}/\text{cm}^{3/2}$); σ_{ox} 为修正项 (kg/cm^2)。

利用二维应力—光学定律公式:

$$2\tau_{\max} = nf/t$$

式中: f 为光弹材料的条纹值 (kg/cm 条); n 为等色线条纹级数; t 为试件厚度。

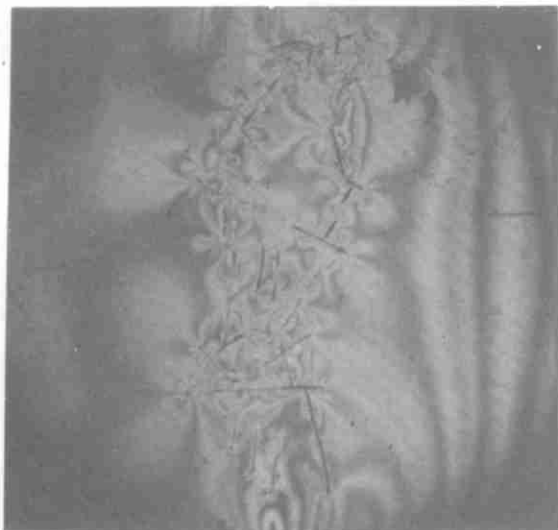


图 2 阜新盆地 NWW 系光弹模拟等色条纹

Fig. 2 Isochromatic patterns of photoelastic modelling of WNW tectonic system in Fuxin basin

再运用《材料力学》中已知一点的最大剪应力公式: $(2\tau_{\max})^2 = (\sigma_x - \sigma_y)^2 + (2\tau_{xy})^2$ 来建立光弹实验与模型中应力状态关系,用双条纹差分解式求得模拟地区断裂尖端奇异场内任意一点的应力分量,最终求得等色条纹类型及主应力方向和等色条纹级数及应力大小。它们能很好地解释阜新盆地的形成、扩张和回返封闭。

仅从等色条纹类型及反映的应力作用方式看:

当模型边界按 NWW 系构造应力条件施压时, NNE、近 SN 和 NWW 向断裂端点表现为 I 型条纹, NE、NNW 向断裂端点表现为 II 型条纹, NW、NEE 向断裂表现为复合型条纹(图 2)。用针刺法判断, NNE 和近 SN 向断裂显张性, NWW 向断裂显压性, NE 向断裂显

左旋扭性, NNW 向断裂显右旋扭性, NW 向断裂显右旋压扭性, NEE 向断裂显左旋压扭性。

而当模型边界按新华夏系构造应力条件施加压力时, NNE、近 SN 和 NWW 向断裂端点也表现为 I 型条纹(图 3); 但针刺判断 NNE 和近 SN 向断裂显压性, NWW 向断裂显张性; NE、NEE 和 NW、NNW 向断裂端点表现为 II 型条纹(图 3); 针刺判断结果, NE、NEE 向断裂显右旋扭性, NW、NNE 向断裂显左旋扭性。

总之, 光弹模拟实验所显示的阜新盆地盆缘断裂网络应力状态变化与实际情况的相似性, 说明断裂多期活动是可能的。

4 断裂多期活动的研究方法

断裂多期活动的研究方法主要包括宏观研究和微观研究两个方面。宏观研究以野外和矿山井下断层的宏观调查为主, 主要研究断层形态变异、断层擦痕叠加、构造岩的复杂化、断层旁侧构造指示断层位移方式的改变等几个方面调查入手。微观研究则包括显微形迹和岩组分析两种研究手段, 它们都以采集定向构造岩标本、切制定向薄片的偏光显微镜研究为主; 前者, 通过偏光显微镜研究水平切片内显微形迹的变异、矛盾; 后者则在弗氏旋转台下, 通过测试石英

或方解石光轴方位,绘制剖面相、地面相岩组图、分析岩组图对称性的变化来反映断层经历过几期活动。

5 研究意义

(1) 在构造地质学研究领域,传统构造地质学从断层成因和两盘位移特征出发,最常见的是将断层分为正断层、逆断层、平移断层和正平移、平移正断层,逆平移、平移逆断层以及旋转断层。由于断层的多期活动,上述断层分类实际上是指断层某一期活动所显示的断层性质,也就是说,从总体上看,自然界中的大多数断层常常是不同性质断层多期活动的综合产物,是最终结果,显然很少有哪一条可以进行上述命名。人们习惯谈到的正断层、逆断层,多数属于断层效应命名,其正确命名多数应为正断层式断层(简称正式断层)和逆断层式断层(简称逆式断层);这是因为在仔细研究这些所谓的正断层或逆断层时,经常发现这些断层不单纯具有上盘下滑或上盘上冲位移留下的构造形迹,而是一条断层(正或逆)常常正、逆、平移构造特征(擦痕、构造岩等)兼而有之,即使是断层一次活动形成的所谓正、逆断层,也常常可以由岩层倾斜以后的平移断层所形成。显然,断层多期活动的发现,为构造地质学对断层的深入研究提出了一个严峻课题。

(2) 在煤田地质学研究领域,断层多期活动研究与叠加褶皱分析相结合,是盆地形成、演化动力学研究的最主要途径。以阜新盆地为例,盆地主体(中、南部)内部断裂主要为4组,即NW290°、NE20°、NW340°和NE70°,其力学性质、位移方式和断层多期活动的性质演化如下:

NW290°断层:压冲逆断层→张滑正断层→反扭平移断层;NE20°断层:张滑正断层→压冲逆断层或反扭斜冲逆平移断层→顺扭平移断层;NW340°断层:顺扭平移断层→反扭平移或反扭斜滑断层→压冲逆断层;NE70°断层:反扭平移断层→顺扭平移或顺扭斜冲平移逆断层→张滑正断层。

显然,第一期断层活动的构造型式属于NWW系,反映NWW—SEE引张为主的拉伸体制,是成盆期主要构造;第二期断层活动的构造型式属于中新华夏系,反映NWW—SEE压缩为主的挤压体制,是成盆后构造;第三期断层活动的构造型式属于NNW系,反映NEE—SWW挤压为主的SN右行直扭加上EW挤压的地壳运动,也是成盆后构造。

(3) 在矿井地质学研究领域,断层多期活动的最终断层效应是研究井田构造规律的最主要内容,因为采掘工作中的断层问题,实质上是巷道过断层和回采遇到断层的处理问题。煤矿生产部门把断层分为正断层和逆断层两类,这种分类主要是依据巷道、采面所见断层上、下盘

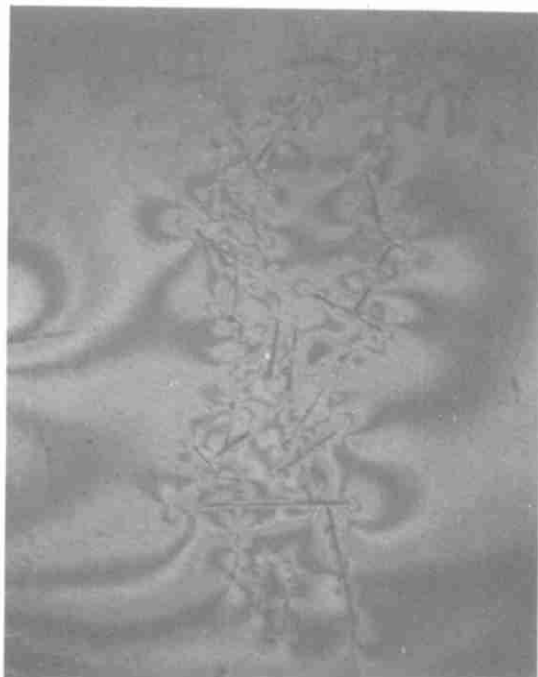


图3 阜新盆地中新华夏系光弹模拟等色条纹
Fig. 3 Isochromatic patterns of photoelastic modelling of the mid-Neocathaysian structural system in Fuxin basin

现存的相对位置确定的,它的命名实质是断层效应命名。由于断层效应主要是断层多期活动的最终结果,显然多期活动对每一条、每个方向断层的断层效应所起的作用等研究对井田构造规律研究起着至关重要的作用。

(4) 在内生矿床学研究领域里,那些受断层控制的矿床或矿体的富集规律、分布规律及隐伏矿床和矿体预测与断层多期活动研究有十分密切的关系。可以毫不夸张地说,绝大多数储矿构造是那些由于断层多期活动所形成的有利的较大断层空间。以山东省玲珑金矿为例,产于EW向断层中的金矿体,主要赋存在先期的舒缓波状以压冲断层出现、后期转变成水平顺扭平移断层而形成的空间内(图4);相当一部分金矿体产于两条断裂交接部位,也是与断层多期活动使这些交切部位形成张开的空间有关(图5)。

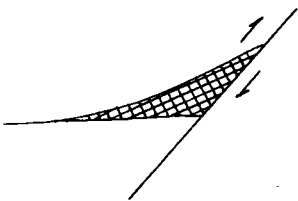


图4 玲珑金矿EW向断裂控矿图
Fig. 4 EW-trending fault control of ore deposition in Linglong gold area

图5 玲珑金矿NE与EW向断裂交会处控矿图
Fig. 5 Control of ore deposition at the conjunct place of NE and EW faults in Linglong gold area

参 考 文 献

1 刘志刚等. 煤矿构造学. 北京:世界图书出版公司,1990。
2 刘志刚、王连生,应用地质力学. 北京:煤炭工业出版社,1993。
3 刘志刚,阜新盆地地质力学分析.《地质论评》,1991,37(6): 529。

SIGNIFICANCE OF THE STUDY OF REPEATED
MOVEMENT OF FAULTS

Liu Zhigang Cui Hongqing
(Fuxin Mining Institute)

Sun Dianqing
(Institute of Geomechanics, CAGS)

Abstract During the long geologic times, an area may have experienced repeated crustal movements in different directions and in different manners thus resulting in different stress fields. Most of the pre-existing faults would be reactivated under changing stress fields to be imparted some new mechanical properties and new features of movement. Sometimes, the later faults may develop by adapting to the earlier ones. Therefore, the reactivity of faults is common and can be seen from place to place. The research on the repeated movement of faults can be carried out, either macroscopically or microscopically or both. The former in-

cludes study of variation of fault shapes ,superposition of slickensides ,tectonic breccia and side structures ,etc. and the latter microstructures and rock fabric analysis ,etc. . The study of repeated movement of faults is of important significance in structural geology ,mining geology ,coalfield geology and endogenetic mineral deposits.

Key words fault ,repeated movement ,stress field

第一作者简介

刘志刚,男,满族,1942年生。理学博士,教授,阜新矿业学院资源系主任。主要从事地球动力学、构造地质研究。通讯地址:辽宁省阜新矿业学院资源系。邮编:123000。

地质力学开放研究实验室简介

一、开放实验室组成及设置

地质力学开放研究实验室经地矿部批准,于1990年8月30日正式建立,隶属于地矿部,挂靠地质力学研究所。地质力学开放研究实验室主任:崔盛芹教授;副主任:吴淦国教授、王连捷研究员、沈淑敏研究员。

开放实验室学术委员会由13人组成,其中院士3人、教授4人、研究员3人、教授级高工3人,陈庆宣院士任主任。实验室高级科学顾问组由孙殿卿院士、王仁院士、王鸿祯院士及潘立宙研究员等组成。

开放实验室现有研究人员10人,其中研究员5人、副研究员5人。根据研究课题的需要,拟聘所内高中级职务的客座研究人员若干人。

围绕实验室发展方向与研究中心,本室下设4个实验室:

(1)构造应力场模拟研究实验室。包括泥料模拟、二维及三维光弹模拟、数学模拟,主要进行构造应力场方面的基础与应用基础研究。

(2)岩石力学和地应力研究实验室。包括岩石力学性质及不同温压条件下的形变—相变关系的实验研究,不同方法的地应力测量系统及现今构造应力场方面的基础与应用基础研究。

(3)显微构造、构造地球化学及构造活动年代学研究实验室。包括微观—超微观及X光岩组研究,主要进行显微尺度下的构造应力场及形变—相变关系等方面实验研究,查明构造应力场与构造带地球化学场之间的关系以及地壳运动、断裂活动的年龄与时期。

(4)热流及地温场研究实验室。把地热异常和地热场视为构造活动的标志与深部作用的窗口进行观测剖析,同时进行古地温演化与油气形成关系的应用基础研究。

二、学科发展方向和近期研究内容

本实验室侧重地质力学的基础理论与实验研究,是地质力学研究工作的重要组成部分。近期主要开展不同历史时期及现今不同规模的构造区、构造带乃至全球构造应力场及其运动演化程式的模拟实验研究,构造应力驱动对油、气、水及成矿溶液等岩内流体运动规律的实验研究,现今构造应力场对矿山、工程场地及区域地壳稳定性作用的实验研究,不同温度、压力及时间条件下岩石粘弹性、弹塑性及流变性等与变形场、构造应力场关系的实验研究,古今地温场演化及其与构造应力场关系的实验研究等内容。

(下转第95页)