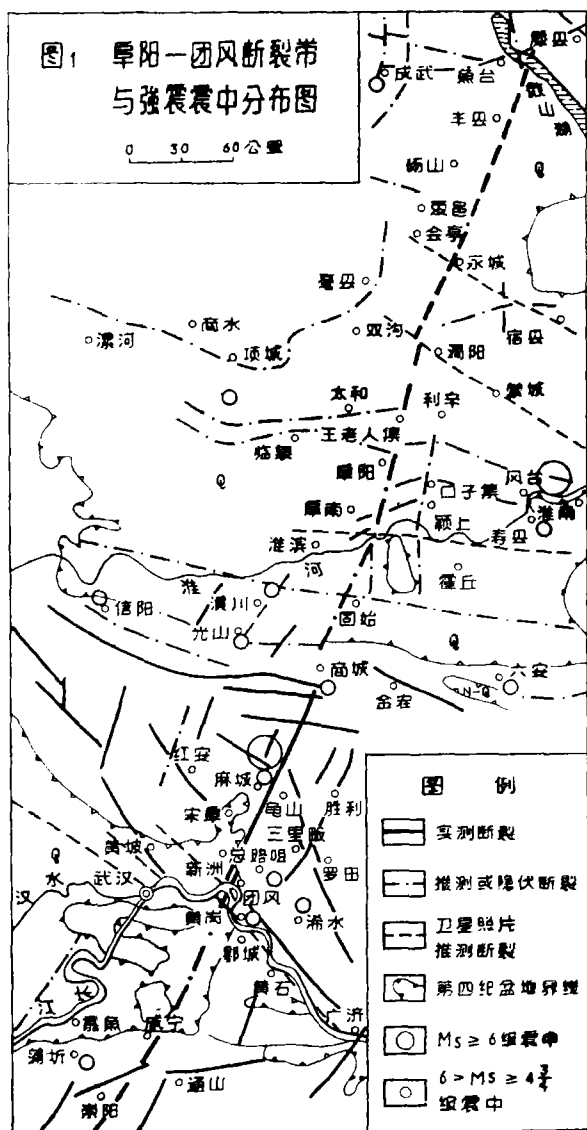


阜阳—团风断裂带的活动性*

谢广林、徐孝文、许明孝、黄广思、杨秀庭

(国家地震局地震研究所)



一、断裂带简况

在郯庐断裂带西侧 150—180 公里, 有一条与其大致平行的断裂带, 我们称为阜阳—团风断裂带。它北起山东滕县附近, 南至湖北崇阳以南, 长达 600 公里以上。它是中国东部地区的大断裂带之一, 但不是一条完整的断裂, 而是由数条北北东向断裂呈雁行排列组成(图 1), 其中芒砀山—永城断裂、王老人集断裂、商城—新洲断裂(又称麻城—团风断裂)、梁子湖断裂等, 过去的地质和物探工作已经证实。卫星照片上, 芒砀山—永城断裂的影像清楚, 它向南延伸到涡阳西北, 向北经过江苏丰县、山东谷亭镇, 然后穿过微山湖至大古村以北。我们在地面磁测工作中, 发现一条北北东向的固始断裂(图 2), 大致将王老人集断裂和商城—新洲断裂联系起来。梁子湖断裂向南延伸的形迹隐约可见, 卫星照片上的影像大致经过咸宁温泉、崇阳东侧, 並可能进入湖南省内。这些主干断裂两侧, 尚有一系列与其

* 本文的形变资料为我所形变研究室的工作成果, 另有甘家思、李元军两同志参加部分野外工作, 借此致谢。

平行的规模较小的分支断裂，如塘口断裂、巴河断裂、鹰山尖断裂、口子集断裂，以及卫星照片上所显示的光山——潢川断裂等，它们与主干断裂相距15——30公里，彼此具有成因联系，地震活动也具有明显的相关性，从而组成了一个宽30——60公里的构造地震带。

本带各断裂的规模悬殊，短者30公里左右，长者100多公里，走向 15° —— 30° ，局部地段达 40° 以上，倾角一般为 60° —— 80° 。本带可分为三段：北段基本上隐伏在第四系底下，以芒庐山——永城断裂、王老人集断裂和固始断裂为主体。中段以商城——新洲断裂为主体，错断太古界、元古界和燕山期花岗岩体，并控制中——新生代麻城——新洲槽地的发育。它是一条枢纽性断裂，黄土咀以北倾向北西西，黄土咀以南倾向南东东。南段以梁子湖断裂为主体，控制中——新生代梁子湖槽地的发育。这些主干断裂可能切割到康氏界面以下，并经历了漫长的历史发展过程。

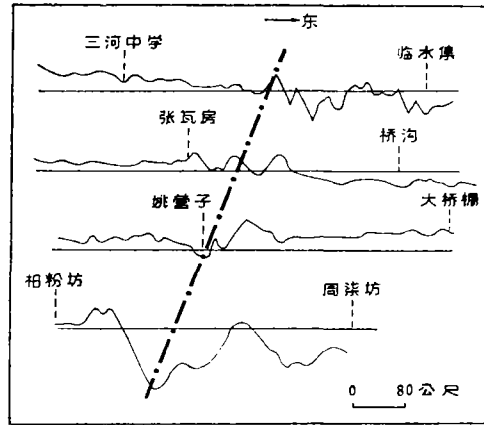


图2 固始断裂 ΔZ 磁测剖面图

商城——新洲断裂各期构造岩的性质、穿插关系及其所错断的地层表明，燕山运动以前形成一套以矽化岩为代表，包括一部份石英脉和基性岩脉的张扭性构造岩，宽数十米至百余米。燕山运动时断裂活动以压性为主兼具扭性，形成10米宽的糜棱岩和百米以上的压碎岩。喜山运动时，又表现为张扭性活动，含有糜棱岩砾石的断层角砾岩宽数米。晚近时期，断裂

呈压扭性活动，形成1米宽左右的尚未胶结的断层泥。这条断裂对大别山的区域地质（表1）、新构造运动、构造地貌等具有明显的控制作用（详见下节），以致将大别山分为东西截然不同的两部份，并造成两侧磁性体的显著差异，东侧为杂乱的正常场，西侧的磁场呈平缓开阔延展。

表1 商城——新洲断裂东西两侧之异

	西 大 别 山	东 大 别 山
1.	主要出露元古界地层	主要出露太古界地层
2.	混合岩化微弱	混合岩化强烈
3.	区域变质较浅	区域变质较深
4.	燕山期花岗岩出露面积较小	燕山期花岗岩大面积侵入

本带与一系列近东西向、北西向断裂交织复合在一起，但不同地段与这些断裂的交切关系表现不同。中段商城——新洲断裂切割了一系列近东西向断裂，但在商城附近却被一条近东西向断裂所限制，致使其与固始断裂之间——下马河至上石桥一带，仅表现出破碎现象，而没有形成一条规模较大的断裂。在三河尖附近，固始断裂与王老人集断裂之间，卫星照片上似乎被一条近东西向断裂所限制。在永城，卫星照片上的北西向宿县——会亭断裂的影象非常清楚，似乎切割了本断裂带。这些交切关系，不仅与各断裂的成生时代有关，还与本断裂带各段的活动强度不同有关，有些地段活动比较强烈以至切割了近东西向或北西向断裂，有些地段因活动较弱而被近东西向断裂所限制，有些地段虽曾一度切割了其他方向的断裂，但晚近时期近东西向或北西向断裂的活动比较强烈而又切割了本断裂带。

二、晚近时期的活动特点

晚近时期，阜阳——团风断裂带的活动形迹主要表现在下列诸方面：①形成一套尚未胶结的断层泥。②发育了一系列新破裂面，有的产状与断层泥产状一致。③断裂两侧第四系厚度不一。④有的断裂控制着玄武岩的喷发。⑤断层崖、断层三角面、裂点等发育。⑥断裂两侧的谷地形态与类型截然而异。⑦断裂的某些地段控制着坡积裙或冲——洪积扇的发育。⑧断裂两侧的地貌类型截然不同。⑨同级剥夷面被错断。⑩断裂两侧的阶地性质与高度不同。⑪断裂两侧发育了不同的水系型式。⑫断裂带中可见到第四纪断裂与裂隙的发育。此外，断裂带中的温泉，两侧同期文化遗址的变迁等，都是重要的活动形迹。对上述这些形迹进行分析，可以得到下列几点认识：

1. 本带的断裂活动可以划分四种类型：

(1) **断裂两侧差异上升**：以商城——新洲断裂为为代表，第四纪以来两盘均表现为上升，但上升强度不一样，致使同级剥夷面与同级阶地的高度不同。上升强烈一侧，侵蚀构造地形、V形谷和悬谷发育，河流以下切为主；上升较弱一侧，主要发育剥蚀地形或侵蚀堆积地形，谷地平缓开阔，河流旁蚀作用明显。两侧不同地貌景观的转折线，恰好与断裂相吻合，并且沿转折线可见到断层崖、断层三角面、裂点、坡积裙、冲——洪积扇的发育。

(2) **断裂两侧差异下降**：王老人集断裂、口子集断裂等，第四纪以来两盘都表现为沉降，上复百多米至二百余米的第四纪沉积物，而断裂的活动则造成两盘第四系厚度差异达50米左右。

(3) **断裂两侧反向升降**：诸城——保安断裂两侧的阶地对比，反映了 Q_2 — Q_3 期间两侧为差异上升。但是，新石器晚期（距今五千年左右）以来， Q_3 阶地上的村落遗址，在断裂东侧逐渐被抬升，目前距长江江面已达10米（黄冈诸城），而西侧则逐渐沉降，目前距长江江面仅5米（鄂城吴家大弯），并在围垦前经常被洪水所淹没和逐渐沉溺于梁子湖中，说明此断裂两侧呈上升与下降的反向错动。

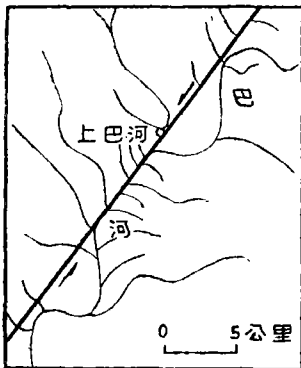


图3 巴河断裂两侧的水系扭动变形

(4) **断裂两侧水平扭动**：以巴河断裂为代表，尚未胶结的断层泥中水平擦痕发育，断裂两侧的溪流、冲谷和阶地，彼此对应呈反向的弧形弯曲（图3），溪流向右岸旁蚀，并形成良好的侵蚀壁与侵蚀三角面。

前三种类型不仅垂直差异错动的形迹明显，而且河流与阶地等的变形表明它们兼具平移错动。后一种类型虽然主要表现为水平动扭，但巴河断裂北段，仍具有垂直差异错动的形迹，两侧中更新世的同级地高差达10—15米。

2. 晚近时期的活动以压性为主兼具扭性，商城——新洲、巴河、鹰山尖等断裂的尚未胶结的断层泥，切割了其他各期构造岩，属于最新的一期，具片状结构，扁豆体发育，并可见到钙质胶结的构造透镜体，断层面呈舒缓波状，擦痕和小阶步显示了上盘的逆冲，呈压性为主兼具扭

性活动，它与张扭性活动的北西西向至近东西向断裂，恰好可以配套。另一方面，构造地貌形态（图4），红岩与新第三纪玄武岩中节理的分期配套，第四纪地层的变形，新构造裂隙

与小断裂等所反映的主压应力方向，与本带活动的力学性质也基本相协调。例如黄岗赤壁下更新统砾石层中，发育一走向50°的压扭性断裂；固始望岗上更新统冲——湖积物中，有四

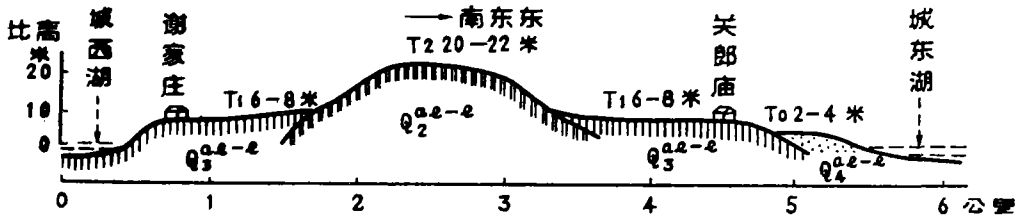


图4 霍丘城南的北北东向新构造拱曲隆起与阶地、第四系剖面图

组新构造裂隙和小断裂，走向10°者为压性，80°和340°者为扭性，290°者为张性，它们恰好可以组合配套，並反映了主压应力作用为近东西向，这与中国东部地区的构造应力场完全吻合[1]。但是，由于局部应力场的变化，有些断裂的活动则以扭性为主兼具压性，如巴河断裂即是。

3. 中更新世以来，断裂两侧第四纪沉积物的厚度，同级剥夷面与阶地的高差等，反映了断裂的最大垂直断距达50米(图5)，但不同断裂，不同地段的活动强度不一样，其中以商城——新洲断裂和王老人集断裂的活动强度较大。固始断裂的垂直断距约20米左右。巴河断裂北端的垂直断距虽达20米，但南端的垂直断距不大。商城——新洲断裂的垂直断距自南向北减小。整个来说，本带以中段麻城——新洲一带和北段阜阳——阜南一带的活动强度最大。

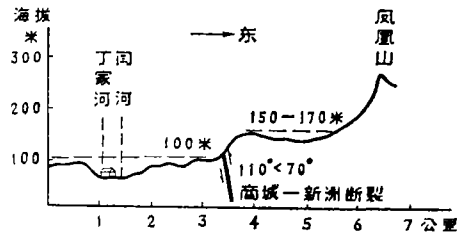


图5 商城河北面断裂两侧同期剥夷面的高差

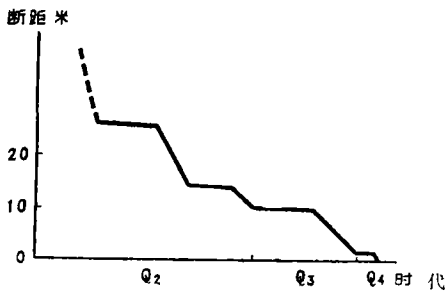


图6 中更新世以来商城——新洲断裂的节奏性活动模式

4. 晚近时期本带主要表现为节奏性的活动，即有时断裂发生剧烈错动，有时比较微弱，或者相对稳定。商城——新洲断裂南端两期以上的玄武岩，沿断裂发育的二、三层断层崖、断层三角面和两期冲——洪积扇、多级裂点等，都是断裂剧烈活动的形迹。断裂两侧同时发育的剥夷面与阶地，固始断裂附近上更新统8米阶地上的废弃河道和牛轭湖等，则是地壳运动和断裂活动相对稳定的表现。从断裂两侧的阶地对比来看，中更新世以来本断裂带至少经历四次大的节奏性活动(图6)。一次大的节奏性活动，往往可分为许多次小的节奏性活动，近期地震活动的时强时

弱，即是这种小的节奏性活动的体现。

三、现代的活动迹象

近期内,本断裂带的活动可从下列诸方面加以认识:

1. 宏观异常〔2〕: 1974年7月至11月,大别山北麓出现了以地裂缝为主体的各种宏观异常,虽然地裂缝以北西西向的张性开裂为主,并受近东西向的构造线控制,具有带状分布特征,但地裂缝首先出现在固始等地,而后向东西两侧发展,这可能预示着当应力作用加强时,本带的活动首先加剧,从而最早出现地裂缝等各种宏观异常。嗣后,1975年、1976年和1977年初,在淮河中游出现大量宏观异常期间,阜阳等地表现得很激烈,包括地裂缝、地下水、动物(冬天蛇的出洞很普遍)、火球、植物异常等。1976年7月——1977年初,本带的黄冈、麻城、鄂城等,也出现一些宏观异常,虽然这里不是首先出现,而是自淮阳山字型弧顶的黄梅——广济逐渐发展至此,但在鄂东地区两次宏观异常高潮期间,这里一直限制着宏观异常的向西发展,反映了它的最新活动明显地控制着两侧地壳运动加剧程度的差异。

2. 地壳形变: 近二、三十年内,在本带开展的一些形变测量表明,不同地段的活动强度有所差异:

①垂直形变: 跨断裂的重复水准测量计有五条线路(表2),施测结果可以初步看出:

表2 跨阜阳——团风断裂带水准线路成果表

施 测 线 路	两点距离 (公里)	施 测 年 份	变化幅度(毫米)	年速率(毫米/年)
阜阳—颍上沫河口	17	1953—1976	+62	+2.7
阜南曹大庄—颍上柿子园	11.9	1953—1976	+17.6*	+0.8
灌河西—商城城关东	16.7	1953—1975	+10.4	+0.5
麻 城 东	30	1959—1973	-1.9	-0.1
	13.5	1973—1975	+1.8	+0.9
新洲闵家弄—黄冈团风	16.1	1959—1973	+51.4	+3.8
		1973—1975	+35.6	+17.8
		1975—1976	+0.7	+0.7
		1976—1977	+7.9	+7.9

*: 其中有两点的变化幅度达44.5毫米。

(a) 五条线路均表明断裂东侧相对上升,西侧相对下降。(b) 阜阳和新洲的活动速率较大,商城和麻城附近活动不明显。(c) 闵家弄——团风线路的年速率变化较大,可能受流动型亚粘土层、流沙层和地下水变化的影响所致,但几期成果均反映东升西降的总趋势,说明断裂活动引起的变化也是一个不可忽视的因素。

1959—1973年间,垂直形变年速等值线图(图7)表明,麻城—新洲为一相对沉降地带,沉降轴走向北北东,与白垩—第三纪槽地轴基本吻合。沉降轴与向斜轴类似,它的垂直方向应为主压力的作用方向,说明本断裂的现代活动以压性为主。引用水平扭动量公式注〔1〕:

$$\Delta L = \Delta h \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} \beta}$$

进行运算,可以大致估计团风、麻城、商城三地段断裂两侧的相对扭动量和扭动方向。(公

注〔1〕北京大学地质力学专业地震地质组编,从水平测量计算地应变、断层错动的一些基本概念和方法,油印本。

式中 α 为施测路线方位与断裂走向的顺时针方向夹角, β 为断裂倾角, Δh 为断裂两侧的垂直错动量, 正号表示顺扭, 负号表示反扭。) 从表 3 可以看出, 上述三地段的水平扭动量均为负号, 说明断裂呈反扭活动。

表 3 商城——新洲断裂水平扭动量计算表

地区	施测年代	路线方位(度)	高差变化量(毫米)	断裂倾角(度)	断裂走向(度)	水平扭动量(毫米)
团风	1959—1973	80°	+51.4	75°	25°	-19.7
麻城	1973—1975	115°	+1.8	75°	30°	-5.5
商城	1953—1975	92°	+10.4	80°	40°	-2.4

②水平形变: 1975、1976、1977年先后运用激光测距仪在麻城、固始、新洲等地段进行施测, 各边成果分别与1957年或1958年三角测量成果进行比较, 其中一部份在误差值范围之外, 一部份在误差值范围之内。跨断裂边长的变化量和线应变, 以新洲和固始两地较大, 最大变化量分别为 -171 毫米和 +65 毫米, 线应变分别为 -10.9×10^{-6} 和 $+4.7 \times 10^{-6}$ 。麻城三期成果中, 前两期变化甚小, 远远低于中误差; 后两期断裂边最大变化量为 +21 毫米, 线应变为 $+4.2 \times 10^{-6}$, 大于二倍中误差。从三个地段跨断裂边的扭动情况来看, 固始、麻城两地段的边长变化在误差值之外者, 主要表现为左旋, 与前面所述的扭动方向一致, 但新洲地段主要表现为右旋, 是否与边界条件、局部应力场变化或其他因素有关, 目前尚难以作出结论。

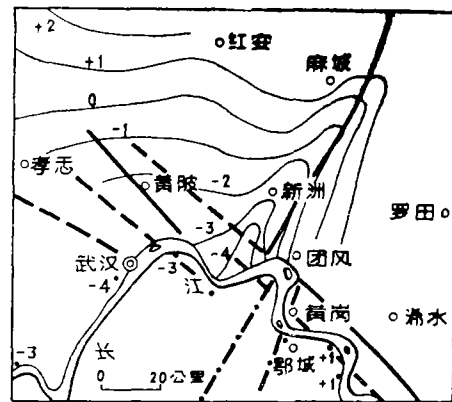


图 7 麻城—新洲1959—1973年垂直形变年速率等值线图

在固始, 尚有四条边跨过北西西向的合肥——明港断裂, 它们显示断裂北盘相对向东推移(图 8), 这种扭动形式与固始断裂反扭错动的合力方向为北西——南东向。引用应变公式注①:

$$\epsilon_1 = \frac{\epsilon_x + \epsilon_y}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{\gamma_{xy}^2 + (\epsilon_x - \epsilon_y)^2}$$

$$\epsilon_2 = \frac{\epsilon_x + \epsilon_y}{2} - \frac{1}{2} \sqrt{\gamma_{xy}^2 + (\epsilon_x - \epsilon_y)^2}$$

$$\text{tg}\phi = \frac{2(\epsilon_1 - \epsilon_x)}{\gamma_{xy}}$$

(公式中 ϵ_1 和 ϵ_2 为主应变轴, ϵ_x 和 ϵ_y 为在 x 轴和 y 轴方向上的线应变, γ 为剪应变, ϕ 为主应变轴 ϵ_1 与 x 轴的夹角)。计算出区域内主拉应变 $\epsilon_1 = +3.81 \times 10^{-6}$, 主压应变 $\epsilon_2 =$

注①: 据国家地震局地震测量队编写的“利用测量成果求地应变”, 《地震与地壳形变》, 铅印本, 1974年1月。

-0.94×10^{-8} ，主拉应变轴方向为北东——南西向，而北西——南东向受压，与上述分析的主压应力方向基本上吻合。

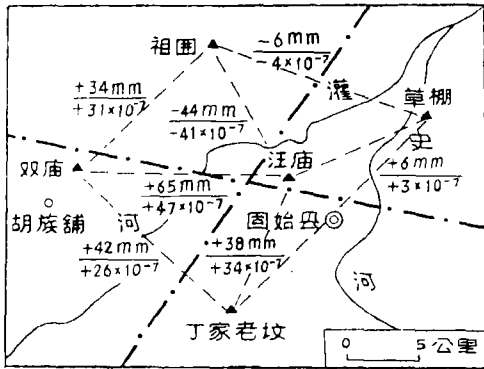


图8 固始1976—1957年水平形变示意图
比例尺 1 : 50万
图例 A固始断裂 B合肥—明港断裂
 $\frac{+34mm}{+31 \times 10^{-7}}$ = 边长变化量(毫米)
线应变变量

表4 阜阳——团风构造地震带强震

年	代	地 点	震 级
1433		潘 水	4 $\frac{3}{4}$
1634.3		黄冈—罗田	5 $\frac{1}{2}$
1640.3		黄 岗	5
1863.8.30		修水—通城	5
1913.3.27		麻 城	5
1925.7.27		商 城	5
1932.4.6		麻 城	6
1954.2.8		蒲 圻	4 $\frac{3}{4}$
1959.7.3		潢 川	5
1959.12.14		光 山	4.9

3.地震活动：本带记载的 $M \geq 4$ 级强震十次(表4)，最大震级6级。早期三次发生在与北西向或北北西向断裂的复合部位，修水和蒲圻地震发生在与北东东向构造的复合部位，其他五次发生在与北西西至近东西向断裂的交汇处。显然，纬向构造的最新活动对本带

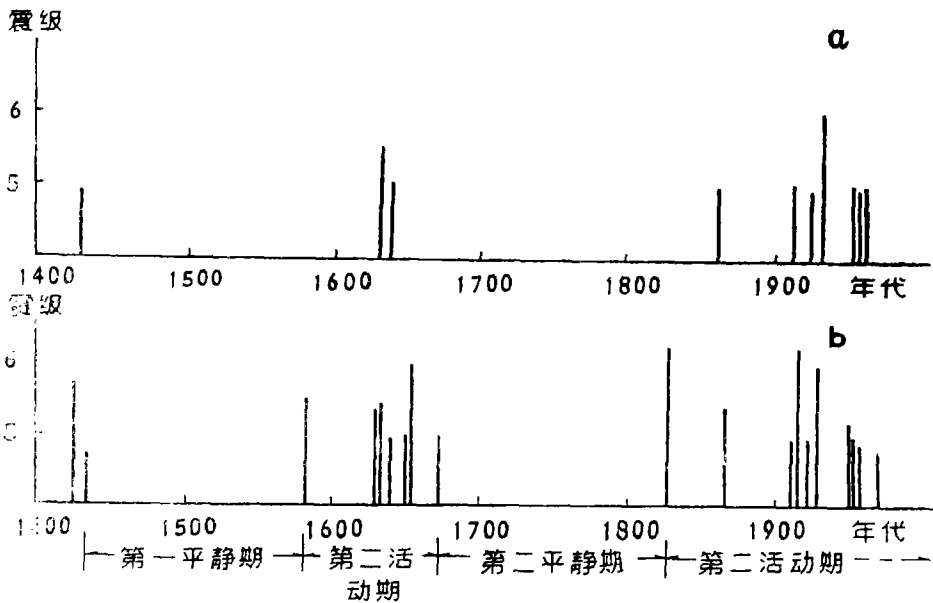


图9 阜阳——团风断裂带与大别山地震区的强震活动对比图

a. 阜阳——固始断裂带强震时间分布图 b. 大别山及其周围的强震时间分布图

的地震活动具有很大的影响, 据研究它在地震活动中“具有相当重要的作用”〔8〕。这些强震首先出现在本带中段, 然后在南段与中段对迁, 1959年以后又跃迁至北段南端, 这表明不同时期, 不同地段的的活动强度和应力集中程度均有所差异。

1433年以来, 本带的地震活动具有两次节奏性变化, 具体划分为两个平静期和两个活动期(图9—a), 明显地反映了断裂以蠕动和粘滑两种方式交替进行的发展过程〔4〕。蠕动时间长达200年以上, 地震频度低, 没有强震, 只发生一些有感地震。粘滑活动时间比较短, 但地震频度高, 並产生强震。节奏性活动不是机械地重复, 而是有所变化, 例如本带后一个活动期比前一个活动期的时间长, 强震次数多, 能量释放也大。这种现象, 与大别山地区强震活动的节奏性变化相协调(图9—b), 说明它是受区域地壳运动所控制的。

本带的强震多数在同一断裂控制下呈对偶活动, 如1634年和1640年、1913年1932年、1959年7月和1959年12月等地震, 彼此都在同一北北东向断裂控制下成对出现。地震的对偶活动, 一般发生在单斜式和斜方式的对称构造中, 因为这种构造形状反映了地壳运动与应力作用的对称性〔5〕, 因此地震作为应力释放与地壳运动的一种表现形式, 也可能存在着对偶活动。而1925年本带与近东西向断裂交汇处的商城发生5级地震后, 还没有一次地震与其配套对偶, 因此可以参照对偶地震的基本参数, 包括两次地震的震中距离、时间间隔、震级差等注①, 在与其类似的构造部位圈定未来可能发震地段, 以及初步估计可能发生的震级。

四、应力集中地段的初步分析

近几年的活动迹象表明, 本带的应力集中地段可能在阜阳——固始和新洲——黄冈两处。前者包括呈雁列式的王老人集断裂和固始断裂的一部份, 並有数条北西西向至近东西向断裂与其复合; 后者主要包括商城——新洲断裂南段和梁子湖断裂北段, 並有北西西向断裂与其复合。这些断裂的交汇处和雁列式的过渡地带, 有利于应力的积累, 容易形成闭锁地段。这些断裂主要属于两盘差异下降或差异上升的活动类型, 並兼具水平扭动。压扭性活动的两盘差异下降断裂, 由于地表两侧都表现为沉陷, 因此在地下深部(中和面以下)派生出水平引张力削弱断裂的摩擦力。两盘差异上升者, 由于断裂附近表现为拱曲隆起, 也会产生近于水平向的引张力以削弱断层面上的仪压力和摩擦力。商城——新洲断裂南端, 还受张渡湖沉陷的影响, 使其产生近于水平向引张力而有利于增大断层面上的剪切力。这三种形式, 郭增建等〔6〕在讨论平推错动型震源的两盘兼具垂直差异错动时, 都作了精辟的论述, 他们认为这些形式都可促使断裂的错动和发震。

虽然这两地段的重复形变测量次数不多, 尚难辨别地壳形变近期内是否处于加速过程, 但它们的变化比较大(具体数字见上一节), 应变积累比其他地段显著, 因此, 不仅引起断裂活动的加剧, 而且引起岩石物理性质和化学性质的变化。在地表, 松散沉积物的剪切模量比较低, 应力作用增强时容易引起破裂, 所以固始——阜阳等地首先发育了大量的地裂缝。地表构造地裂缝的发育, 可“当作地下构造活动的地面投影”〔7〕。阜阳一带, 自从1974年地裂缝发育以来, 波速比下降趋势明显, 最低值为1.66左右, 地下微裂隙发育, 因此地热和可燃性气体可沿着微裂隙少量逸出地表, 並导致地下水的异常变化, 火球的形成和冬眠蛇的大量出洞, 这就是本段进入到非弹性变形阶段所引起的一系列异常变化〔2〕。

注①: 谢广林, 中强震活动的对偶现象, 国家地震局地震研究所, 油印本, 1979年7月。

本带在1969年至1977年期，仪器所记录的 $1.5 \leq M \leq 4.5$ 级弱震约60次左右，它们主要集中在两个地段：①北段的阜阳——固始一带，弱震多沿着北北东向断裂和近东西向断裂分布。

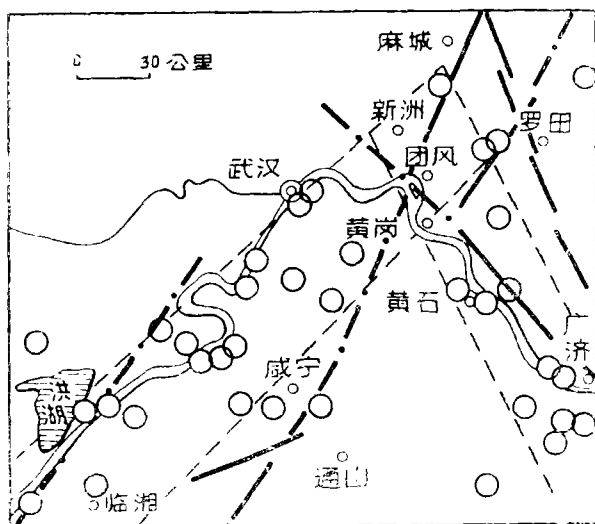


图10 1969—1977年新洲附近的北东向与北西向弱震活动带 ($1.5 \leq M_i \leq 4.5$)

②中南段，已初步形成北东向和北西向两个弱震活动带的雏形，交接部位在新洲附近（图10）。这种现象，也许是地壳运动加剧引起了断裂蠕动速度的加快和岩层的破裂，以致产生了一系列弱震，而在两条断裂或两条弱震活动带的交接部位，则可能成为应变积累的闭锁地段。如：阜阳——固始地段和新洲——黄冈地段。

但是，地壳运动的变化很复杂，应力作用的方式、方向和强度经常作短暂的调整，应变能的释放形式也是多种多样的，因此倘若地壳运动朝着不利于孕震的方向发展，就可能削弱两地段的应变积累，或者以其他形式释放应变能，

或者应力转移到其他地点集中。另一方面，这两地段的的活动迹象尚不足说明断裂即将进入突然滑动阶段，尚看不出强震前的预位移现象^{〔8〕}，因此，必须密切注意其发展趋势，才可能决定是否应该作出短期地震预报。

主要参考文献

- 〔1〕邓起东等：中国构造应力场特征及其与板块运动的关系，《地震地质》，第1卷第一期，1979年。
- 〔2〕谢广林：长江——黄河中下游地区的宏观异常与地壳运动的关系，《西北地震学报》，第一卷第三期，1979年。
- 〔3〕向光中：我国大陆东西向构造与地震活动的关系，《西北地震学报》，第一卷第二期，1979年。
- 〔4〕张文佑等：初论断裂的形成和发展及其与地震的关系，《地质学报》，第一期，1975年。
- 〔5〕Gilbert Wilson: The tectonic significance of small scale structures, and their importance to the geologist in the field.《Ann Soc Geologique de Belgique》，T.LXXXV, D June 1961.
- 〔6〕郭增建等：地震预报中的某些力学问题，《力学》，第一期，1977年。
- 〔7〕李四光：中国西北部活动性构造体系与地震带的分布关系，《地震地质》，科学出版社，1973年。
- 〔8〕郭增建等：大震前预位移的讨论，《西北地震学报》，第一卷第二期，1979年。