

沂沭断裂带内部的差异活动及其成因分析

满洪敏

(北京市地震局, 北京 100080)

摘要: 郯庐断裂带在山东境内被称为沂沭断裂带的部分是其新构造活动最为强烈的一段。许多学者对沂沭断裂带做过大量研究工作, 指出沂沭带活动存在差异性, 但较少关于差异活动的原因分析。本文在前人研究工作基础上, 较为深入地分析了沂沭带 5 条断裂的主要活动规律及其特点, 对沂沭带进行了新的分段, 并归纳了沂沭带不同断裂之间、同一断裂不同段落之间的活动差异及其差异的基本特征。在此基础上, 从地貌、断裂结构、断裂空间组合、现代运动、深部构造环境等几个方面, 分析阐述了造成沂沭带差异活动的可能原因, 为更深入地研究沂沭带提供了新鲜的启示和思路。

关键词: 沂沭断裂带; 差异活动; 差异成因

中图分类号: P313.3 文献标识码: A

0 引言

沂沭断裂带是郯庐断裂带通过山东境内的部分, 也是构造形迹出露最好、新构造活动最强烈的一段。它北起渤海莱州湾, 南至江苏省新沂, 总体走向 NE10°~25°, 长约 360km。主要由 4 条主干断裂组成, 自东向西为: 昌邑—大店断裂(F₁), 白芬子—浮来山断裂(F₂), 沂水—汤头断裂(F₃), 郯部—葛沟断裂(F₄)。这 4 条断裂在中生代活动强烈并形成了宽 20~60km 的“两堑夹一垒”的构造格局(图 1)。F₁ 和 F₂, F₃ 和 F₄ 分别构成东西两地堑的边界。另外 1 条安丘—莒县断裂(F₅)位于东地堑内, F₁ 和 F₂ 之间, 它的现代活动强烈, 新构造运动, 特别是全新世以来的活动遗迹丰富, 1668 年郯城 8.5 级大地震的震源层沿这条断裂展布。

沿沂沭断裂带广泛发育着拉分断陷盆地, 它们是晚更新世—全新世断裂在右旋走滑活动过程中经构造拉分形成的。如石埠子盆地, 苏村盆地, 莒县盆地, 临沂盆地, 板泉盆地, 郯城盆地等。盆地内沉积物厚度相差较大, 一般在 20~30m, 最厚 150m。从沂沭带地层岩性分布看, 上第三系主要分布在沂水—临朐一带, 地层厚约 400m^[1]; 下更新统及中更新统的冲洪积、坡积物主要分布在沂河中下游; 晚更新统(Q₃)主要沿沂河、沭河及其支流的一级阶地以及相关的断陷盆地分布; 全新统(Q₄)冲积层、海积层

则主要分布在沂沭带北段。

在沂沭断裂带的东西两侧, 一系列规模不等的 NE 和 NW、NW 向断裂, 与沂沭带一起构成了区内活动断裂的主体。特别是一些 NW 向断裂, 活动时期在晚更新世末—全新世初, 与沂沭断裂带强烈活动时期有一致性^[2]。

沂沭断裂带具有多期次活动特点, 而且各时代活动极其复杂。本文主要研究新构造晚期以来断裂带内部不同断裂, 或同一断裂不同地段的结构形式、受力状态、运动方式、活动时代及活动强度等差异。

1 沂沭断裂带的活动差异

1.1 沂沭断裂带的断裂活动差异

本文在已有差异活动研究的基础上进一步分析了差异活动的表现形式, 差异大小及其特征。

1.1.1 断裂的活动强度差异

沂沭带西地堑 2 条断裂因受挤压而发生逆冲活动, 且因在沂水县北部多处出现的第三纪晚期玄武岩覆盖在郯部—葛沟断裂(F₄)上, 而认定此断裂这一段第四纪不活动^[3]。沂水—汤头断裂(F₃)上见到古生代灰岩推覆到白垩系青山组火山岩上, 推覆体地层强烈扭曲、挠折, 该处主断面近于直立, 泰山群与青山组接触, 具有压性特征。沿西地堑 2 条断裂从未发现全新世活动迹象, 且第四纪早期活动也远不及东地堑所发现的最新活动强烈。明显不同于东

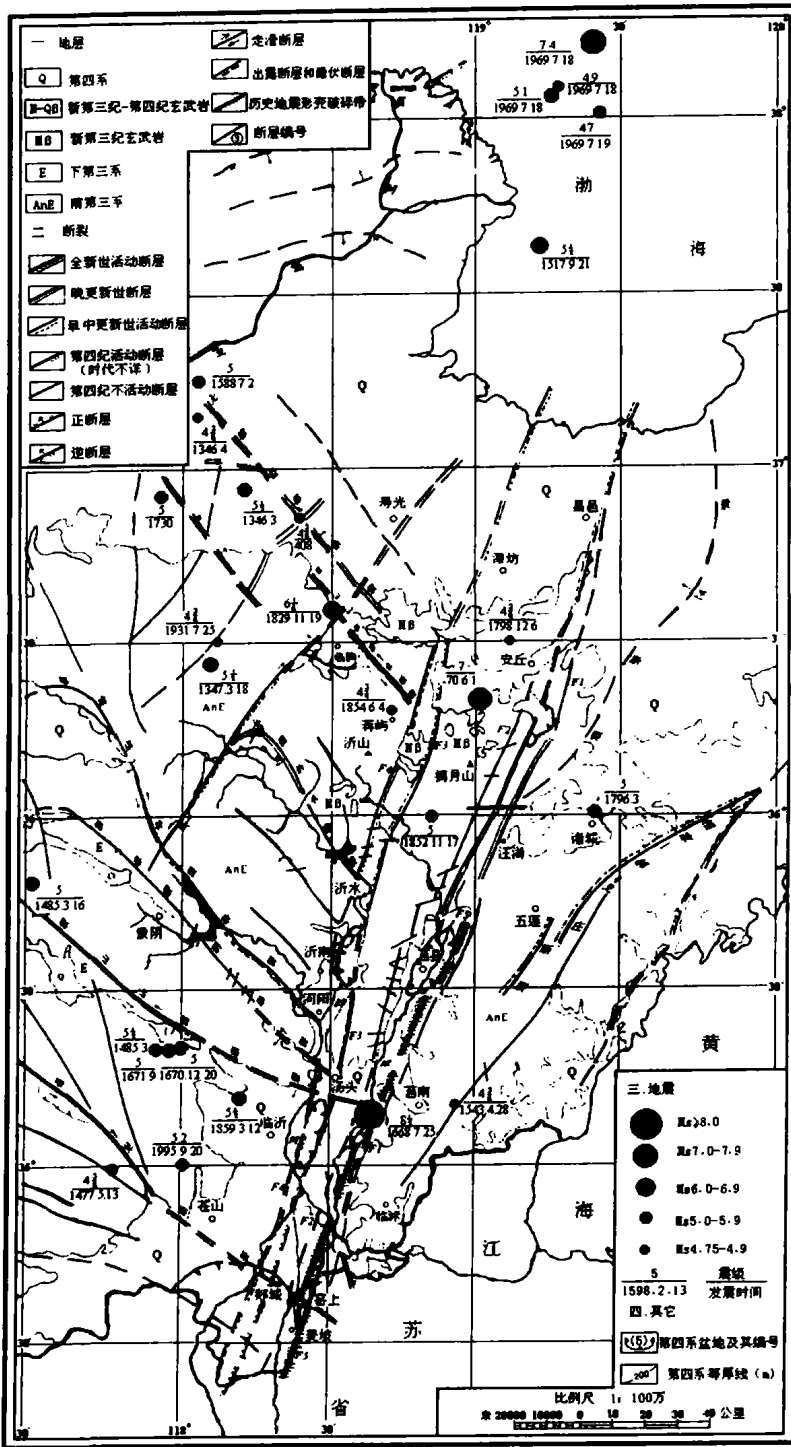


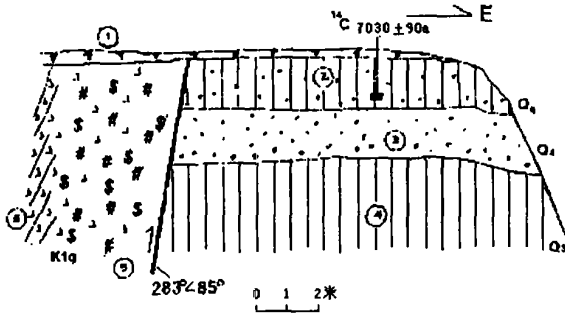
图1 沂沭断裂带及有关次一级断裂空间分布图

地堑断裂的是西地堑的2条断裂大部分在沂水以北地段才有地表出露,而南段大部分隐伏于第四纪覆盖层之下。

相比之下,东地堑的3条断裂活动新,活动强度大。这种特点以东边界断裂F₁和断裂F₅表现得最

为突出。已有地质现象说明,这2条断裂分别是晚更新世和全新世以来的活动断裂,且在逆冲垂向位错(如断层崖)及右旋走滑位错上,其表现形式及变化量都远远大于西地堑2条断裂。

图 2 是 F_5 断裂北段在莒县小土岭的一个剖面。整个剖面被一层厚约 30cm 的耕作土覆盖。耕作土下, 白垩系青山组火山碎屑岩高角度逆冲于晚更新统和全新统之上。该段断层崖很发育, 一般高 4 ~ 5m, 跨断层的冲沟无水平位错, 断层呈高角度逆冲性质。

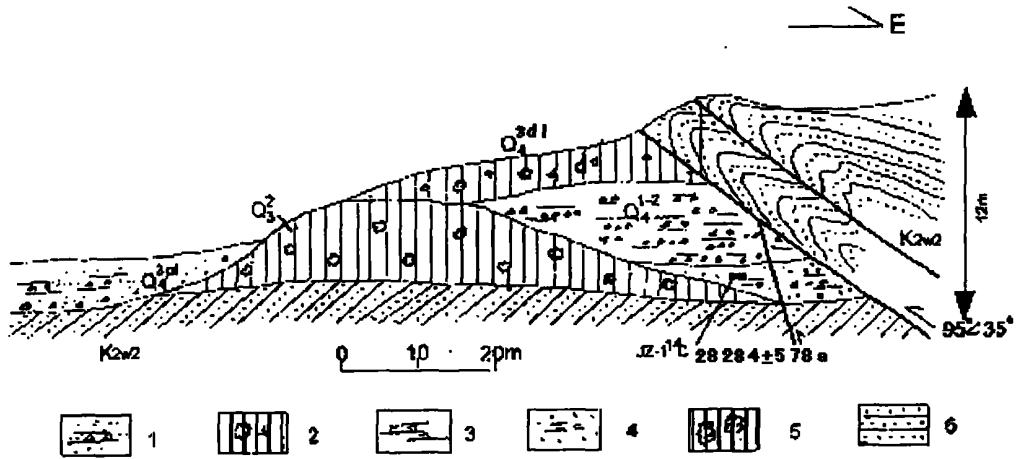


①耕作土; ②黄褐色粘土, 含 Fe-Mn 豆; ③灰黄褐色砾石层;
④棕黄色粘土, 含少量小砾石; ⑤火山碎屑岩; ⑥断层破碎带
图 2 莒县小土岭 F_5 断裂地质剖面图

在莒南县左山, 发现一个显示发生在沂沭带的古地震事件及 1668 年郯城 8.5 级地震遗迹的剖面。在那里, 白垩系青山组(K_1W)和王氏组页岩(K_2W)呈断层接触, 除 1668 年郯城地震错断了现代耕作土外, 断层还有过 3 次强烈活动, 剖面显示了断层在剧烈的走滑运动中形成的一种张性正断现象。

图 3 是 F_5 断裂南段郯城县纪庄的一个剖面。剖面表明, 白垩系王氏组(K_2W)紫红色砂岩逆冲于全新世地层之上, 断层上盘王氏组砂岩地层还有强烈的构造变形。

沿 F_5 断裂再往南, 可以看到 F_5 断裂控制着白垩系王氏组 2 段紫红色细砂岩(K_2W_2)和王氏组 3 段砖红色粉砂岩地层。由于后者松软, 易于侵蚀, 所以使得本来就出露地表的断层线在这里表现得更为一目了然, 并且由于它错断了一系列新生代岩脉(水平位错 50 余米)和晚更新世沉积物(水平断距 23m), 所以使 F_5 断裂的右旋走滑运动特征在这里表现得更为典型。



1. 砂砾石层; 2. 棕色亚粘土, 含 Ca 结核; 3. 砾石层 具有层理; 4. 砾石层砾石成分为砂岩碎块; 5. 黄棕色粘土; 6. 紫红色砂岩
图 3 郯城县纪庄 F_5 断裂地质剖面图

实际上, F_5 断裂出露地表段落多而长, 地质现象丰富。它们说明, 东地堑内的安丘—莒县断裂 F_5 , 从活动年代到活动强度都是西地堑断裂所远不能及的。沿其分布的古地震遗迹及若干断面的多期运动特点表明, 这条断层在全新世内就已经有过几次强烈活动。

1.1.2 断裂的活动年代差异

西地堑 2 条断裂活动年代早于东地堑断裂, 约在晚更新世, 因为在西地堑的东边界断裂 F_3 上发现晚更新世断层, 而西边界断裂 F_4 上只发现有中更新世断层^[4]。相比之下, 东地堑除西边界断裂 F_2

为晚更新世活动断裂外, 更突出的活动则是在全新世, 全新世活动突现在 F_5 上。从南北差异性看, 沂沭带南段的活动显然要比北段更新。因为全新世活动的特征都反映在南段, 甚至连伴随 F_5 断裂而生的褶皱山系自安丘往北也逐渐变低、减弱或消亡。从总体上看, 沂沭带第四纪断裂活动, 在时序上存在着由北往南发展和由老到新范围逐渐缩小的特点。

1.1.3 断裂差异活动的地貌显示

(1) 断层崖分布

沿西地堑 2 条断裂很难发现有断层崖或断层陡坎的存在。在东地堑, 尤其是沿着断裂 F_5 , 由断层

倾滑运动产生的断层崖显而易见。断层崖主要分布在4个段落^[1,5,6]上:北段莒县招贤—陵阳段上断层崖一般高达4~5m;往南莒县石井—大店一段断层崖亦发育,高度1~3m;再往南在莒南县刘家岭—后左山一段断裂上,仔细分辨仍可发现断层崖存在,但断层崖清晰程度差,最高处不过0.5m;在较南部的郯城县华桥—窑上一段上,由逆冲倾滑产生的断层崖高者竟3~4m。不管断层崖是由几期运动形成的,它的存在表明沿这条断裂在晚更新世、全新世以来其运动的强烈程度远远超过了沂沭带的其他断裂。

(2)相应地层或水系冲沟被断层扭曲或位错

同一地层或水系冲沟被断层扭曲或错断的现象在F₅断裂,特别是F₅南半段上表现突出。这里因马陵山存在,冲沟发育,且断裂沿马陵山边缘同向发育延伸,为扭曲或水平位错的产生提供了条件,并成了F₅断裂活动的一项重要地貌标志。例如莒县石井—大店兼有逆冲的走滑段上,最新水平位错约2~3m;莒南县刘家岭至后左山一带冲沟被右旋错动极为明显、同步,最新水平错动达9m;郯城县华桥—窑上段的水系或地层被错断的距离也有数米;郯城县麦坡—新沂县何庄段的水平位错迹象最突出,错距最大,达23m。再往南,在新沂县王庄集—桥北镇一段,山前冲沟右旋错动明显,断头沟及断头尾鲜明。

沿F₅断裂广泛分布的地层或水系被错动的现象,说明这一断裂在不同时代的强烈走滑运动。这种现象不仅是沂沭带其他断裂所没有的,也是华北地区的许多走滑断裂少见的。

(3)与NW向断裂有关的差异

NW向苍尼断裂与沂沭带4条主干断裂交汇,它对西地堑2条断裂的影响在地貌上并无表现,但对东地堑断裂的影响却很大,它不仅使F₅断裂发生了横向位错,使断裂由马陵山西边缘更加贴近了马陵山中脊,而且使这里的一条主干河流—沭河调转方向,由马陵山东侧折转NW向而穿越马陵山,然后再沿马陵山西侧南下(图1)。主干河流被扭曲与NW向苍尼断裂的切割及活动有关,也是F₅断裂强烈右旋走滑运动的表现。

(4)活动褶皱

在东地堑内,伴随F₅断裂同时发育一条串珠状排列的褶皱山系,它北起安丘,南至宿迁,绵延数百公里。其空间位置完全伴随F₅断裂展布,并且一侧边界受F₅断裂控制,与F₅共同组成一条活动构

造带。褶皱山系的海拔高度在50~190m,超出周围地面约30~150m。这条褶皱山系形成于第四纪晚期^[7],它与F₅断裂有一样的形成机制,都是在新生代经强烈挤压并做右旋走滑运动形成的,因此这套褶皱山系的存在,亦是东地堑及其断裂新生代以来强烈运动的标志。

1.2 沂沭断裂带的地震活动差异

沿沂沭带发生的地震,除空间分布上的不均衡与断裂构造密切相关外,地震活动的类型、频度、强度以及空间分布随时间的变异等,很显著存在着与断裂活动密切相关的差异特征,并且与由构造运动性质、强度等反映出来的断裂活动差异十分一致。

1.2.1 历史中强地震活动差异

(1)南北分段

从图1的中强以上地震分布看出,沂沭带北端的渤海湾内发生过多次7级以上强震;由此往南,直至公元前发生过7级地震的安丘至1829年临朐6¼级地震一带的北纬36°以北地区,从未发生过中强以上地震。由北纬36°附近再往南,除1668年郯城8.5级大地震外,1796年诸城5级地震、1852年沂水5级地震、1859年临沂5.2级地震以及1995年苍山5.2级地震等都发生在沂沭带南段。沂沭断裂带南北中强以上地震空间分布差异是以安丘—临朐的NW向条带为明显分界的。这一NW向条带不仅是中强地震的分布带,小震密集带,而且也正是与沂沭带交汇的NW向双山—李家庄断裂和益都—无棣断裂展布的场所。大量证据证明,这几条NW向断裂是晚更新世及全新世以来的活动断裂^[8]。

(2)东西分带

沿沂沭带东西地堑分布的地震活动亦明显不同。沂沭带的历史强震都发生在东地堑断裂上,公元前70年安丘7.0级地震和1668年郯城8.5级大地震就是如此。有史记录以来,沿西地堑2条断裂从未发生过中强以上地震。中强以上地震,如1670年费县5级地震,1859年临沂5.2级地震等,都发生在与沂沭带交汇的次一级NW向断裂上,这与这些断裂与沂沭带的空间组构关系有关。

1.2.2 现代中小地震活动差异

沂沭断裂带地震活动的南北分段性在中小地震空间分布上亦表现明显。图4是自1970年以来至2002年4月的中小地震震中分布图。由此图看出沿北纬36°以北有一条明显的NW向分布的小震密集带,而这里正是上面所说的历史上曾发生强震且

沿 NW 向展布的活动断裂带。沿这一条带的南北两侧,小震频度及空间分布存在着明显差异:北部地震活动频度低,空间分布零散;南部则相反,地震活动频度高,且主要沿沂沭带走向分布,地震发生地点明显地受到沂沭断裂带的控制。

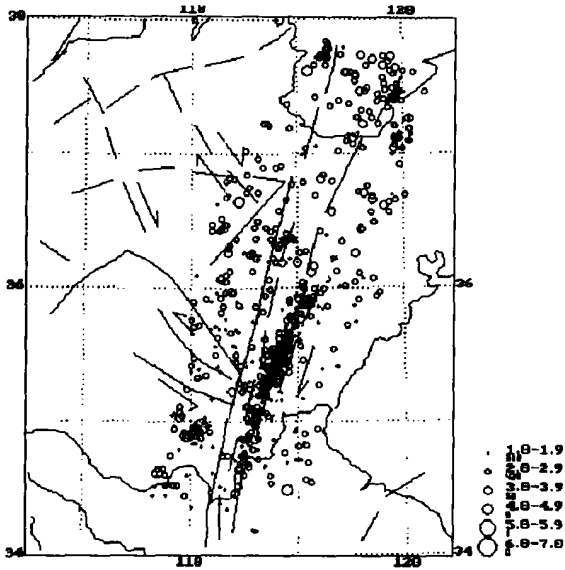


图 4 沂沭带现代地震震中分布图

近代中小地震活动的东西分带特征更为明显。

图 4 表明,沿断裂带东部 3 条断裂,近代小震密集分

布,而沿西地堑 2 条断裂小震分布稀疏,这种差异在沂沭带南段更为突出。

1.2.3 古地震活动差异

近年来沿着沂沭断裂带探槽开挖或钻探,有效地发现了若干古地震遗迹^[9,10]。作者曾对这些古地震遗迹中不同层位物质做过年代测定工作。例如,由新沂县何庄和郯城房圩子剖面的年代数据判断,这一带发生过 3 次古地震事件,其中最近 2 次古地震大约分别发生在距今 3500 年和 8400 年之前。有趣的是,这些古地震亦主要分布在沂沭带东部 2 条断裂上。沿着沂沭带的西地堑 2 条断裂从未发现过古地震遗迹,因此也可以说沂沭带的地震活动差异至少在全新世以来就一直存在。

1.3 差异活动的基本特征

根据地貌、年代分析以及断裂几何运动学等特点,将沂沭带的活动差异特征概括如下:

1.3.1 东西分带

相对于较为稳定的汞丹山地垒来说,东西两地堑活动差异所形成的东西分带特点明显。东地堑断裂,尤其是 F_1 和 F_5 的走滑位错量、倾向断距、破裂长度、活动速率,以及地震活动,都证明其活动强烈程度、活动性质复杂程度远是西地堑断裂所不及的。将这种东西分带性特征列入表 1。

表 1 东西地堑断裂的活动差异表

分带	东地堑断裂	西地堑断裂
几何结构	2 条地堑边界断裂夹 1 条最新活动断裂,沿 F_5 断裂次一级断层右行右阶排列,发育有多处第四纪晚期断陷盆地。	基本呈线性结构,2 条边界断裂内亦控制多处断陷盆地。
断裂产状	走向 NE10~25°,倾向 SE 或 NW,倾角 70~80°	走向 NE10~25°,倾向 SE 或 NW,倾角 60~70°
地貌标志	F_1 、 F_5 2 断裂在南段出露良好,分布在中间褶皱山系两侧,成为褶皱与平原分界线;断层崖沿若干段落发育;大量冲沟水系被右旋扭错。	断裂南北两侧段均覆盖于第四系地层之下,中间段出露;断层崖未见。
与边侧断裂交汇	与 2 条 NE 向断裂交汇,其中 1 条为晚更新世以来活动断裂。	与至少 10 条 NW 向断裂交汇,其中 6 条为晚更新世以来活动断裂,已知有 4 条穿越沂沭带。
最新活动年代	全新世,现代活动断裂生成。	晚更新世
活动方式	右旋逆走滑,有些段落逆冲分量较大。	逆冲兼走滑
活动强度	F_5 最新活动水平位移 23m,垂直断距 3.8~4.5m;白垩系地层覆盖于全新世地层上,近代 8 级地震发生。	F_3 有剖面显示泰山群片麻岩逆冲于中奥陶灰岩上,而寒武—奥陶系灰岩又逆冲于白垩系青山组火山角砾岩之上, F_4 有第三纪晚期玄武岩覆盖在断裂上。
错断地层	全新世地层,个别剖面显示耕作土被错。	最新为晚更新世地层,更多剖面显示为白垩系地层。
全新世活动段长度	300 余公里	未见
最大震级	8.5 级	4 $\frac{3}{4}$
古地震	至少 3 次,3500a, 6000~8000a, 12000a, B. P	未发现
现代小震活动	密集分布,成条带。	分布稀疏,条带状不明显
小震震源深度	6~30km,垂向分布范围相对集中。	2~36km,垂向分布范围较大。

1.3.2 南北分段

近些年,已有多种形式的沂沭带分段结果。如,根据地震事件的强度变化分段;根据断层蠕滑、粘滑段的区别,滑动速率变化段落的划分分段等^[9]。这些分段研究的一个共同点是,以全新世活动断裂,即F5断裂的结构、几何特征、运动性质及幅度等进行分段。作者以为,不仅以1条断裂,而且从整条断裂带的几何特征、物理特性、运动状态等综合特征进行分段研究,会更宜于认识沂沭断裂带的活动特点。基于此,以汪湖—蒋峪一线的1条NW向条带为一级分界线,将沂沭断裂带分为南北两段,更能说明其活动差异的特点。因为:

(1)从几何结构看,沂沭带在这一分界带附近展布最宽,向南北两侧皆逐渐变窄。从沂沭断裂各段的排列组构形式看,构成F5断裂的各次一级断裂都是右行右阶排列的,唯有两处是右行左阶排列者。一处在南部的华桥—窑上段与麦坡—何庄段之间,那里正是NW向苍尼断裂穿过并使沭河改道的地方;另一处则是在管帅—茅埠一带^[9],也就是这里所说的汪湖—蒋峪NW向条带分界线的附近。

(2)从地貌上看,西地堑自此带往南是丘陵及低山出露地表,往北则由第三系逐步过渡到第四系覆盖区;东地堑与F5断裂密切相关的褶皱山系由此带往南则发育得越趋明显。

(3)沂沭带全新世活动断层由南往北一直延续到这里。近些年沿着沂沭断裂走向广泛发育的地裂缝也是自汪湖一带往南延伸发展的。

(4)现代小震空间分布的密集程度沿这一条NW向分界带南北有明显差异,且这一分界带同时是一条小震密集带。

(5)从弱震震源机制解看,自北纬36°向南,P轴仰角较小(10°以下),表明南段以水平作用力为主,而36°以北,P轴仰角为20°~40°,说明北段垂直应力得到了明显加强。显然,北部的拉张作用强于南部。

(6)这条NW向分界带正是NW向双山—李家庄断裂和益都—无棣断裂所在处,沿这2条断裂在现代和历史时期分别发生过6级和7级强震,而且有资料说明,NW向益都—无棣断裂穿越了沂沭断裂带。

在这种分段基础上,可以把南北2段的差异列入表2。

需说明的是,这里是将沂沭带作为一个整体分为南北2段。如果仅以全新世活动断裂F5的几何形态、活动性质、活动时代、最大位移量等进行分段,文献^[9]以茅埠—管帅和窑上—麦坡为界将F5断裂分为3段也是合理的,但以本文作者的思路,这应属于沂沭带的次一级分段了。

表2 沂沭断裂带的南北分段特征表

分段	南 段	北 段
地表特征	断裂出露好,褶皱山系伴断裂而生,有断层崖分布,水系被右旋扭错。	覆盖于第四系沉积下,地貌标志不明显。
最新活动年代	全新世	晚更新世
活动方式	粘滑	蠕滑为主
运动性质	右旋逆走滑,有些段落走滑为主,有些段落逆冲分量较大。	逆冲,但地表无显示。
活动强度	活动强烈,有断裂水平位错23m,垂直断距3.8~4.5m;冲沟水系错距10~30m;有7级、8.5级地震发生。	活动较弱,无数据说明,无中强地震发生。
错断地层	全新世地层,个别错断耕作土。	未见错断地层。
全新世活动状况及长度	全新世活动强烈,多处老地层逆冲于新地层之上,全新世地层被错断,全新世活动长度300余公里。	未见全新世活动。
最大地震	8.5级	4 $\frac{3}{4}$
古地震	发现3次,3500a, 6000~8000a, 12000a, B. P	未发现古地震
现代小震	分布密集,沿东地堑密集成带。	分布疏散
小震震源深度	集中分布于8~28km,小于8km或超过30km者较少。	分布零散,6~30余公里。

2 差异活动原因分析

2.1 NW 向活动断裂的影响

沂沭断裂带是区域性构造块体间的一条边界断裂。因此从能量积累的角度看,地壳运动的能量容易沿着这种边界断裂积累并释放。同时,沂沭带有相当的宽度,并由多条断裂组成,因此能量积累并释放就可能受到与这些断裂相邻的边界环境的影响。沂沭带的主要结构格局是它的西侧存在至少 10 条 NW 走向断裂(图 1)。这些断裂中多数是第四纪活动断裂,有些是晚更新世活动断裂,并具有一定的活动规模和强度。从空间位置看,许多 NW 向断裂,如双山—李家庄断裂、苍尼断裂等,已明显交汇于或穿越沂沭断裂带;有些在地表未显示,但也隐伏性交汇于沂沭带。这些 NW 向断裂有效地释放着沂沭带西侧的应力积累,沿其发生的多次 5 级地震就是证明。同时,由于它们与沂沭带主干断裂的关联性,沿它们的能量积累与释放缓释了与之关联的西地堑断裂的活动,因此,在沂沭带西侧,断裂活动或地震发生更多地体现在 NW 向断裂上,而不是沂沭带西地堑断裂上。相比之下,沂沭带东侧块体具有更大刚性,只有 2 条与之并不交汇的 NE 向断裂分布在东侧,因此,在 NEE 向区域主压应力场作用下,它更易于将应力场作用产生的能量沿着沂沭带东地堑断裂积累,并且因缺乏有关联的分支断裂的辅助活动,东侧积累的能量最终只能沿着东地堑断裂释放。这是沂沭带东侧几乎没有 5 级地震,而发生在东地堑断裂上地震强度大、断裂活动强烈的原因之一,这一分析可用图 5 所示模型示意说明。

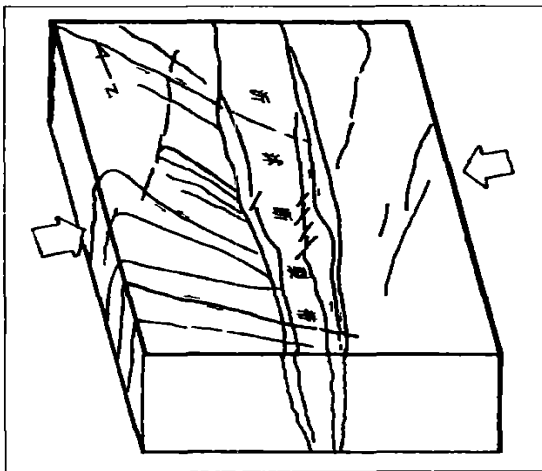


图 5 沂沭断裂带应力构造场作用示意图

西侧次一级断裂对沂沭带活动差异的影响还体现在中强以上地震的分布格局上。历史上发生的多次 5~6 级左右地震并不沿着沂沭带主干断裂发生,而是发生在活跃的 NW 向断裂带上,如双山—李家庄断裂,益都—无棣断裂,蒙山山前断裂,苍尼断裂等。据载,沿 NW 向断裂发生的 5 级以上地震有 15 次,其中 2 次是 6 级以上地震。与之相比,沂沭带东部发生 5 级以上地震只有 1 次,即诸城 1796 年 5 级地震,但这次地震同时处在 NW 向无棣—益都断裂的延伸线上,有资料说这条 NW 向断裂已穿越沂沭带并延伸到了诸城,这说明沂沭带东侧这唯一的 1 次 5 级地震也与 NW 向断裂有关。因此,5 级以上地震分布说明 NW 向断裂带有效地释放着西侧的能量,从而削弱了西地堑 2 条断裂的活动。

另外,NW 向断裂,如苍尼断裂,使沂沭带在与它们交汇处的运动性质改变,断裂位错,河流反向转折,足见它们的存在对沂沭断裂带的运动有着多大的作用。因此沂沭带西侧次一级断裂组构关系,特别是 NW 向断裂的存在及其活动规模和持续性,是沂沭断裂东西活动差异、形成东西分带特征的根源之一。

2.2 活动年代因素

沂沭带的活动差异主要表现在第四纪,特别是晚更新世之后。在晚第三纪或晚更新世阶段,西地堑断裂在早期活动的基础上达到新的平衡而相对稳定,同时由于 NW 向断裂的存在及在晚更新世阶段活动的影响,它不能够积累足够的能量,因此西地堑主断裂在晚更新世之后不再活动。相反,在区域应力背景的不断作用下,东地堑断裂在相同的地质时期,尤其是全新世以来,能量继续积累,并以集中的形式释放,因此这一时代活动强烈,这是东西两侧与活动强度有关的不同时代背景因素造成的。同样,对于整个沂沭带北段,在中更新世晚期或晚更新世早期因受挤压而发生逆冲运动,但或许是有 NW 向断裂形成的 NW 向地质体阻隔的影响,以及北部地势趋低的地形因素,使得北段断裂的晚更新世以后的较弱活动都被第四纪沉积物所覆盖,从而晚更新世以来,特别是全新世以来,在地貌上呈现出断裂活动南强北弱的特征。

2.3 断裂几何结构因素

在特定的应力场作用下,断裂的几何结构会影响断裂活动的协调性。沂沭带,特别是其中全新世活动的 F_5 断裂,并不是南北贯通的,它是由至少 5 个次级破裂段以右阶排列组成的,在不同破裂段间

的错列位置,往往分布断陷拉分盆地。因此,在近东西方向区域压应力场的作用下,总体走向北北东的各个破裂段的形变效果得到最大体现,逐个地质运动活跃期形变的累计叠加,使得沿这些段落的形变特征更加突出。如石井一大店—左山破裂段不同期次的断层崖就是这种形变特征的反映。从断裂的垂向结构看,2地堑边界断裂的倾角也是不一样的。东地堑2边界断裂倾角较陡($70^{\circ} \sim 80^{\circ}$),西地堑2

边界断裂倾角稍缓($60^{\circ} \sim 70^{\circ}$)^[2]。沿着沂沭带所做的深部探测^[12]表明,东西地堑断裂在深部的倾角差异更明显些。深部探测的结论是:西侧2条地壳深断裂东倾,东侧2条直立(图6)。断裂倾角的这种差异,可能会使区域应力场作用下的压应力的承载作用效果产生明显区别。显然,倾角稍缓的断层面上的正应力较大,因此能量积累和活动程度就会弱些。

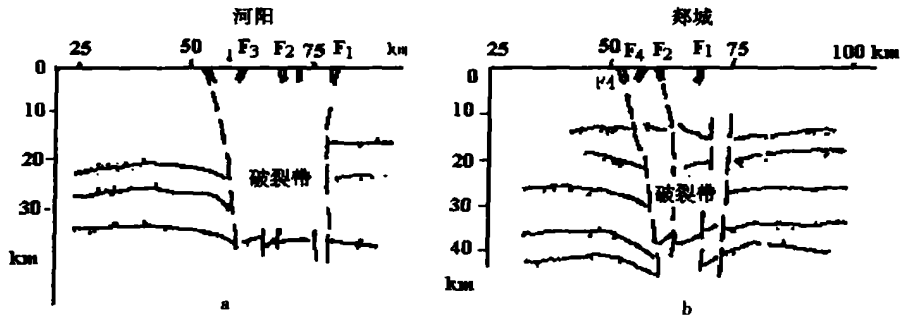


图6 沂沭带深部探测非纵反射剖面图

2.4 断裂带两侧地质体物性不同的影响

从地貌上看,沂沭带西侧为被剥蚀的中低山、丘陵和夷平面,东侧则地势低平,一般为多级层状地貌。与此地貌相关的一个独特的地质现象是,在晚第三纪以来的挤压活动中,沿沂沭断裂带西侧出现了大规模的玄武岩喷发,构成了年轻的玄武岩火山地貌。晚第三纪或早第四纪喷发的玄武岩主要分布在沂水、昌乐和西地堑北部。据有关研究^[13],喷发玄武岩对不同地质体会有焊接作用,从而粘滞断裂活动,西地堑断裂活动较弱可能就和这种玄武岩焊接有关。如果把考察范围扩大,整个郟庐带在伊通以北、嘉山以南均有大规模的第四纪玄武岩喷发,而这2段在第四晚期活动水平都很低。郟庐带上大范围的玄武岩浆分布与弱活动段落的一致性,也可以证明沂沭带西侧的玄武岩喷发在其东西两侧的活动差异中或许起着重要的作用。

2.5 深部结构环境差异

沿沂沭断裂带深部探测工作的主要认识:

①沂沭带西部中下层地壳的向下拗曲程度比东部相应层位地壳的拗曲程度更大,更明显(图6)。

②沂沭带东地堑的2条边界断裂的浅部位置相比深部位置明显向西错移了约6km,这可能也是从地表看起来沂沭带南段变得更窄的原因之一。

由深部探测的这些结论可以看出:

①沂沭带中下层地壳北部破碎,说明在形成这一断裂带的中生代之前及中生代沉积过程中,这一带或许已有过强烈运动。现在尚存的破碎使其不易集结能量,因而活动弱,表现在地表断层,可能会更多地以蠕滑运动为主,这正是北部现今断裂运动的特点。

②沂沭带西侧地壳的向下拗曲与沂沭带汤头—郟城段西侧广泛分布的青山组火山岩、第三纪玄武岩相对应,说明由于断裂的深部切割,自中生代晚期或新生代早期在NEE向挤压应力场作用下开始的岩浆侵入、喷发,沿着西地堑及其西侧分布,也使这里的中下层地壳拗曲,因此这里的中下层地壳具有更大的塑性,从而自新生代以来西部(包括西地堑断裂)不具备储存巨大能量的优势。

③深部探测显示的东地堑边界断裂浅部相对深部向西平推6km。这一位错的形成应当与形成于晚更新世王氏组地层褶皱的时期大体相同,从而说明从晚更新世开始,东地堑由于受到巨大近东西向压应力作用,推动断裂在接近地表的自由面处发生平移。空间位置的移动,使东地堑储备了更大的能量,因而具备运动强烈的环境条件。

3 结论

(1)沂沭断裂带自晚更新世、全新世以来,断裂

活动强度、性质、年代等随着空间分布的不同有很大的差异,可以把这一时代的活动差异概括为东西分带和南北分段。

(2)现代地震活动分析给沂沭带东西分带、南北分段的特点一个更为清晰的轮廓,一条明显的 NW 向条带,构成了沂沭带南北分段的一项物理标志。

(3)沂沭带活动差异的主要原因是:

①沂沭带西侧 NW 向活动断裂带的存在,使沂沭带在 NEE—SWW 向区域挤压应力场作用下东西两侧受力状态不平衡。西侧更大部分的应力集中在 NW 向断裂上,并以这些断裂的左旋走滑,中等强度地震的发生等形式将这些能量释放出来,从而大大减缓了沂沭带西地堑 2 条断裂的受力程度;东地堑东侧因缺乏相应与之交汇的次级断裂,受力和运动状态以及发生的强烈地震都与西侧明显不同。

②断裂的特定空间结构影响了 2 条地堑及断裂运动的协调性。F5 断裂的右阶排列,2 条地堑边界断裂倾角的差异,使得在相同区域应力场作用下的东地堑断裂的能量积累和活动程度要明显强于西地

堑。

③西地堑 2 条断裂早更新世活动之后,一方面达到新的平衡而相对稳定,另一方面由于西侧 NW 向断裂影响不能够积累足够的能量,因此西地堑断裂在晚更新世之后不再活动。同样,中更新世晚期或晚更新世早期因受挤压而发生逆冲,使得北段断裂的晚更新世以后的较弱活动都被第四纪沉积物所覆盖,形成晚更新世以来,尤其是全新世以来断裂活动南强北弱、东强西弱的格局。

④断裂带两侧地质体的物性差异,特别是晚第三纪或早第四纪沿西地堑和 F4 断裂喷发并分布的玄武岩,对断裂有焊接和阻滞运动作用,使其在第四纪晚期活动减弱或不再活动。

⑤东西两侧深部构造环境差异说明,在中生代及其之前沂沭带附近地壳已有过强烈运动。那些破裂严重、塑性较大的段落或层位,不易再集结能量,从而在晚更新世至全新世以来的活动中,就不会像那些较为完整而刚度又大的段落易于集结能量并更趋强烈活动。

参考文献:

- [1] 李家灵,等.新构造期鲁南地区地壳垂向运动特征[J].海洋地质与第四纪地质,1992,12(3):79-86.
- [2] 山东省地震局等.鲁南地震区划图说明书[M].1988.
- [3] 临沂地震办公室.临沂地震[M].山东省出版总社临沂办事处,1988.
- [4] 高维明,等.郯庐断裂带的活断层分段与潜在震源区的划分[J].中国地震,1991,7(4):87-91.
- [5] 李家灵,等.郯庐断裂带郯城—新沂段活断层研究[J].活动断裂研究,地震出版社,1991,(1).
- [6] 晁洪太,等.郯庐断裂带中段活断层位移量研究中的一些问题[J].活动断裂研究,地震出版社,1995,(4).
- [7] 晁洪太,等.沂沭断裂带活动褶皱及其与活动断层的关系[J].地震研究,1998,21(3):261-264.
- [8] 晁洪太,等.鲁中地区北西向断裂及其第四纪晚期的活动特征[J].地震学刊,1992,(2):1-8.
- [9] 李家灵,等.郯庐活断层分段及其大震危险性分析[J].地震地质,1994,16(2).
- [10] 郑郎逊,等.郯庐断裂带的分段与沂沭断裂的活动性[J].中国地震,1988,4(3).
- [11] 丁国瑜.有关活断层分段的一些问题[J].中国地震,1992,8(2).
- [12] 张碧秀,等.沂沭断裂带地壳结构特征[J].中国地震,1988,4(3).
- [13] 黄伟师.从地质地貌标志看沂沭断裂带的新构造活动特征[J].中国地震,1988,4(3).

Differential activity within Yishu fault zone and its causes of formation

MAN Hong-min

(Earthquake Administration of Beijing Municipality, Beijing 100080 China)

Abstract: Yishu fault zone, which is the part of Tanlu Fault in Shandong area, is the most active one in new tectonic movement. A lot of work has been done on its differential activity, but fewer on its causes. The main activities and characteristics of the 5 faults in Yishu zone are analyzed in the paper. We rezoned the Yishu zone, and summed up the differences in their activities between different faults or different parts of one fault and their features. Based on this, the cause of the differential activity was discussed in the field of topography, fault structure, spatial combination of the faults, modern movement, deep tectonic environment, etc.

Key words: Yishu fault zone; differential activity; causes of difference