

郯庐断裂带的活断层与 郯城 8.5 级地震的构造条件

李家灵

(山东省地震局)

提要 郯庐断裂带是中国东部一条结构复杂、规模巨大的北北东向断裂构造带,在我国境内长达 2400 多公里。这条断裂带在地质时期经历了左行平移、岩浆活动、裂谷作用、挤压揉皱、逆冲右旋走滑等复杂的运动过程。新构造期以来具明显地分段活动特征,其中沂沭断裂段新活动最显著,直到第四纪晚期仍有长达 360km 的断裂活动带。断裂活动的特点,表现为空间分布的迁移性,活动时间的阶段性、间隔性,活动方式是以粘滑为主,通过群集和长间隔的大震破裂方式进行。

1668 年郯城 8.5 级大震和几次全新世古地震事件,在沂沭活断层的中段重复发生,是由特殊的构造条件所决定的,分析深浅部构造特征、介质条件,推测郯城马陵山地段在中地壳以上形成了一个新的推覆构造体。在区域应力场的作用下,这个推覆体沿活断层带向南西运动,1668 年郯城 8.5 级地震与几次古地震事件的发生很可能与这个推覆构造的活动密切相关。

郯庐断裂带是中国东部大陆上一条北北东走向的巨型断裂带。在漫长的地质时期它经历了复杂的运动过程,控制并影响着中国东部地壳的发育、变形以及地层、矿产的生成分布,是一条重要的大地构造界线。这条断裂带的重要性引起了广大地质工作者的重视,对它的延伸、内部结构、地球物理场特征、构造力学性质、演化历史等问题进行了多方面的研究。

近二十年来,随着地震事业的发展,对这条断裂带内的活断层与地震进行了详细考察,在渤海以南沂沭断裂段发现一条第四纪晚期形成的活断层带,长达 360 多公里。举世闻名的 1668 年郯城 8.5 级地震就发生在这条活断层带的中部。本文简单介绍郯庐断裂带的基本特征,重点介绍沂沭活断层的活动特征与郯城地震的构造环境,这对认识大陆板块内部活断层特征、特大地震生成的构造条件有着重要意义。

一、 郯庐断裂带的基本特征与构造演化

1. 断裂带的基本特征

郯庐断裂带是 1957 年航磁测量时在山东郯城至安徽庐江地段首次发现的,并命名为郯庐断裂带。经多年研究查明,这条断裂带南起长江北岸的广济地区,向北越渤海后一直进入苏联境内,在中国境内长达 2400 多公里,总体走向北东 30° 左右(图 1)。

本文 1990 年 3 月收到, 10 月改回。

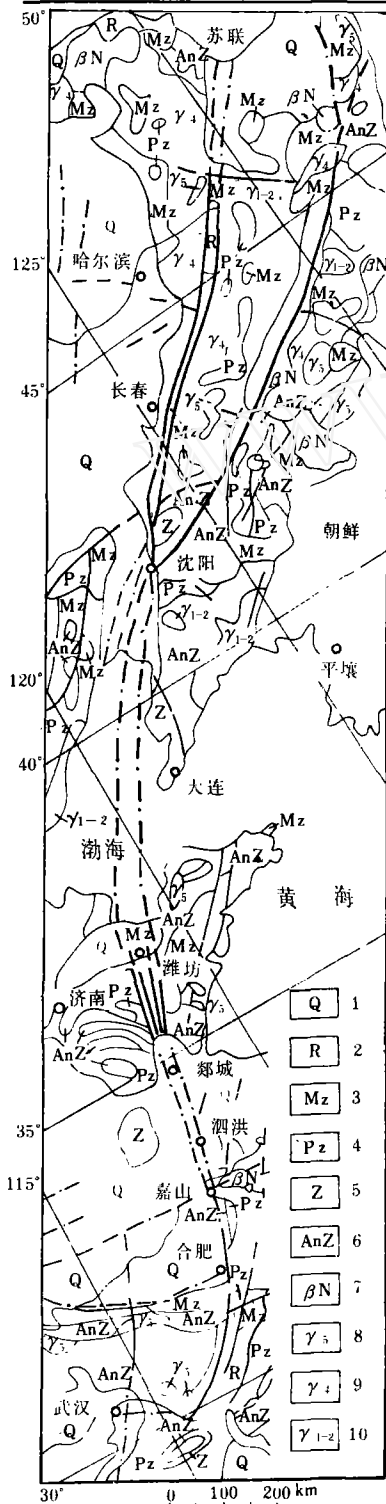


图1 郯庐断裂带构造地质略图
(据山东省地矿局编)

1. 第四系; 2. 第三系; 3. 中生界; 4. 古生界; 5. 震旦系; 6. 前震旦系; 7. 晚第三纪基性喷出岩; 8. 中生代酸性侵入岩; 9. 古生代酸性侵入岩; 10. 前寒武纪酸性侵入岩

断裂带中部宽达 40—60km, 内部结构复杂, 由四条相互平行的主干断裂组成, 形成两侧地堑中间地垒的结构形式。每条主干断裂宽达数十米至百余米, 断面结构复杂, 显示多期构造运动的特征。从断裂带中部向南北两端逐渐变窄, 成为只有两条主干断裂控制的单地堑结构, 宽 10—20km。

郯庐断裂带具有醒目的卫星影象和地球物理场特征, 在布格重力异常图上为一条不连续的重力高异常带, 磁磁图上表现为一条串球状排列的磁力高异常带, 经人工地震测深资料证明是一条切穿地壳进入上地幔的深大断裂带^[1]。

2. 中生代构造演化

郯庐断裂带的生成时代认识不一致, 但是大量的资料说明, 在中生代时期才开始形成一条完整的、具有统一活动的巨型断裂构造带, 并经历了复杂的运动过程, 具有长期活动的性质。中生代早期开始大规模的左行平移运动, 高潮在侏罗纪时期, 据徐嘉炜研究, 断裂带两侧块体的最大水平位移达到 740km, 平均年速率达 1.06cm^[2]。作者(1980)通过郯庐带中段沂沭断裂带的研究, 提出中生代晚期大规模的平移运动基本结束之后, 深部地幔物质开始上涌, 大量的玄武岩浆沿断裂带呈裂隙式喷溢, 上部地壳拱起产生横向拉张, 断裂带内部强烈断陷, 形成两堑夹一垒的构造格局, 内有厚数千米的火山岩、火山碎屑岩、砂砾碎屑岩充填, 实际上是一条典型的大陆裂谷构造^[3]。裂谷的发育阶段南北有所不同, 主要发育在白垩纪至早第三纪时期。晚第三纪以来, 除下辽河、渤海湾地段仍继续扩张、断陷之外, 裂谷逐渐消亡转化为一条挤压构造带, 内部岩层倾斜、褶皱, 主干断裂的断面表现为挤压、揉皱、逆冲, 直到第四纪全新世时期, 沂沭断裂段内仍有逆冲右旋走滑活动。

以上中新生代的构造演化与多期活动形成的断面力学性质, 显示区域构造应力场的主压应力方向由近南北向转为近东西向, 再转为北东南西向。应力场的这种转变, 显然与太平洋板块对欧亚板块俯冲方向的改变是一致的。

3. 断裂新活动的分段性

郯庐断裂带穿越了不同的大地构造单元, 并受

多组北西向活断层的分割,新构造活动的分段性是一个明显的特点。在中国境内自北而南分为四大段:(1)吉黑断裂段(沈阳以北);(2)下辽河—渤海湾断裂段(沈阳—潍坊);(3)沂沭断裂段(潍坊—嘉山);(4)嘉山—广济断裂段。各段的活动强度、活动性质不同,吉黑段与嘉山—广济段,断裂活动弱,第四纪断层不发育,历史记载有中强地震发生,现代小震活动弱;下辽河—渤海湾段的活动强度大,以强烈的引张、断陷为特征,并伴有多期玄武岩喷发,上第三系厚 2000—4000m,第四系厚 700m。历史记载有 1548 年、1597 年、1888 年、1969 年四次 7 级以上强地震发生,现代小震密集分布。沂沭断裂段是郯庐断裂带内第四纪断层最发育的一段,断层活动是以逆冲右旋走滑为特征。历史记载,公元前 70 年安丘发生 7 级地震,公元 1668 年郯城发生 8.5 级地震,无中强地震发生,地震活动具有强度大、频度低的特点。现代小震在莒县—郯城间形成条带分布,郯城以南稀少。

二、沂沭活断层

1. 活断层的标志与几何形态

沂沭断裂带是因郯庐断裂在山东、江苏地区沿沂河、沭河分布而得名。沂沭活断层是郯庐断裂带中出露清楚、发育最好的一段。在卫星与航空影像上清晰醒目,实地考察明显易见,因为它错断了岩层、岩脉、第四系沉积物、夷平面、阶地、洪积扇、冲沟水系等,多处见白垩系逆冲到上更新统或全新统之上(图 2),断层的上盘形成断褶隆起的低山、丘陵,呈

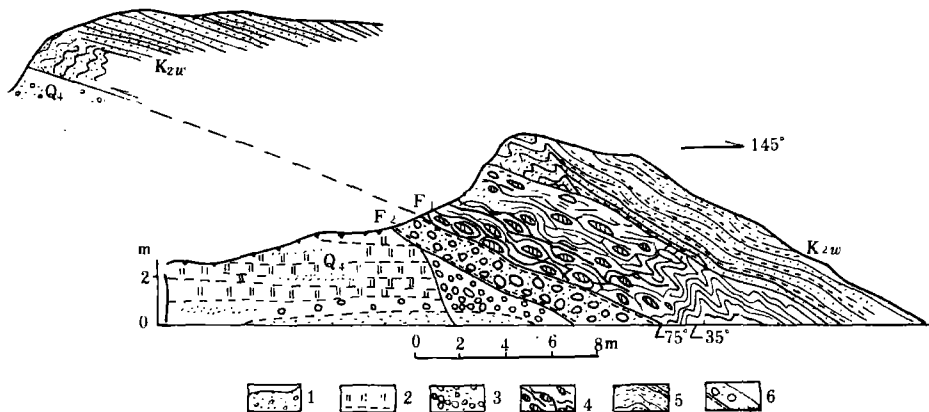


图 2 郯城纪庄活断层上、下剖面图

1. 地表土; 2. 全新世冲洪积物; 3. 全新世洪积物;
4. 挤压构造带; 5. 白垩系王氏组砂页岩; 6. 断层面

长条状控制在断层的一侧,断层的下盘一侧为缓倾斜的平原、断层崖高数米,成为现代地貌的分界线。

活断层带是由许多小的斜列断层组成,仅在莒县—新沂间就有五条长 30—50km 的活断层斜列组成,两条活断层以右列衔接的部位形成局部的拉分盆地,如莒县、板泉崖、新

沂等断陷盆地都属于这种类型。总体来看,沂沭带东地堑内形成一条由活断层控制的、隆起与断陷相间的最新活动构造带,宽几公里,长达360多公里,每个断陷盆地中都有规模不等的北西向断层通过。

2. 活断层的断面结构与力学性质

活断层旷动在东地堑之中,主要是沿东侧两条断裂(F_1 、 F_2)活动,断面产状受老断层控制,发育在老断面之中或一侧,走向北北东,倾向南东或北西,倾角多在 60° 左右,郯城马陵山地区断面平缓,仅 30° 左右。活断层的断面结构简单,一般宽几十厘米,破碎带宽达1—2m,其中沿断层滑动面常见灰白色、灰绿色或紫红色薄层断层泥,厚几厘米。有些活断层是由2—3条平行的小断层组成断束,相距几米到几十米,形成阶梯状断层陡崖,在莒县西北岭、临沭县中华山、郯城马陵山西坡均可见到。

据活断层平面展布的几何形态和剖面结构的力学性质,显示活断层为逆冲右旋走滑的运动性质。同时沂沭活断层又是不均匀的,无论在空间上、时间上,还是在活动强度上都具有不同尺度的演变特征。

(1)沂沭断裂带,在晚第三纪至早更新世末期,主要沿西侧两条断裂(F_3 、 F_4)活动,并有多期玄武岩喷溢,如昌乐、沂水、嘉山女山湖等地均有分布;中更新世时,断层活动微弱,地壳相对稳定,广泛发育夷平面;晚更新世以来,断裂再度活动,但在空间上已迁移到东地堑之中,沿东侧两条主干断裂(F_1 、 F_2)活动,形成最新的活断层带。这时西侧两条断裂仅在局部地段微弱活动,很可能是早期玄武岩浆贯入喷溢起了固结的作用。

(2)晚更新世末期是沂沭断裂带的一个最新强烈活动阶段。近年来,作者考察了沂沭带西侧的北西向断裂,发现多数断层在晚更新世末期也有明显活动(图3),活动性质与北

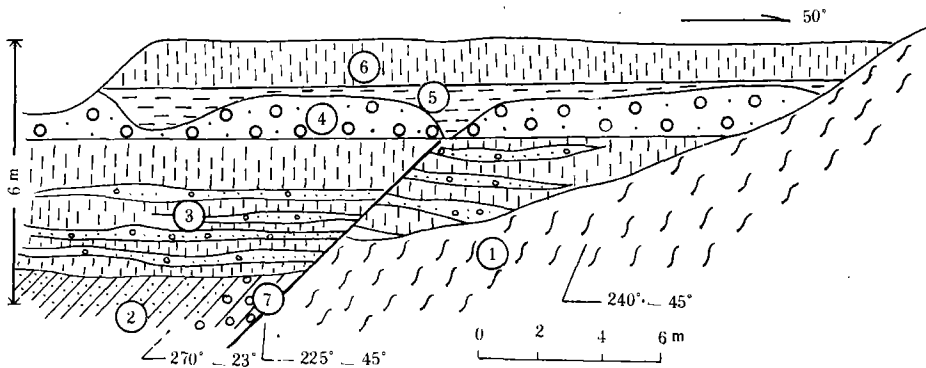


图3 平邑杨庄蒙山断裂剖面图

1. 太古代片麻岩; 2. 第三纪砾岩; 3. 晚更新世棕黄色亚砂土夹砂砾石透镜体; 4. 全新世砂砾石; 5. 灰绿色淤泥; 6. 全新世砂质亚粘土; 7. 晚更新世断层垂直断距1.2m

北东向的沂沭活断层不同,表现为张性左旋走滑。显然二者是在同一时期,统一构造应力场的作用下形成的。表明晚更新世末期沂沭断裂带及两侧地区地壳再度活化,成为断裂的一个最新活动阶段。据断层面的特征以及断层泥中石英颗粒显微刻蚀形貌特征分析,断层

的活动方式是以粘滑为主, 多见快速运动形成的撞击楔入现象。很可能在晚更新世末期是以群集性的强震破裂形式发育活断层。

(3) 全新世时断裂活动减弱, 空间分布与断层活动规模缩小。据考察研究全新世断层仅发育在东地堑之中, 从莒县岭泉至宿迁晓店、泗洪峰山长约 250km, 根据冲沟右旋位错确定全新世断层的最大水平位错 27—33m。1668 年郯城地震断层位于莒南岭泉至新沂何庄的全新世断层之中, 长达 120km, 最大水平位移 7—9m^[4]。通过对活断层的开挖研究和¹⁴C 年代测定, 认为 12000 年以来, 在岭泉至何庄之间至少经历了三次古地震事件(图 4), 其强度与郯城 8.5 级地震相当, 大震的复发间隔约在 3500 年左右^[5]。

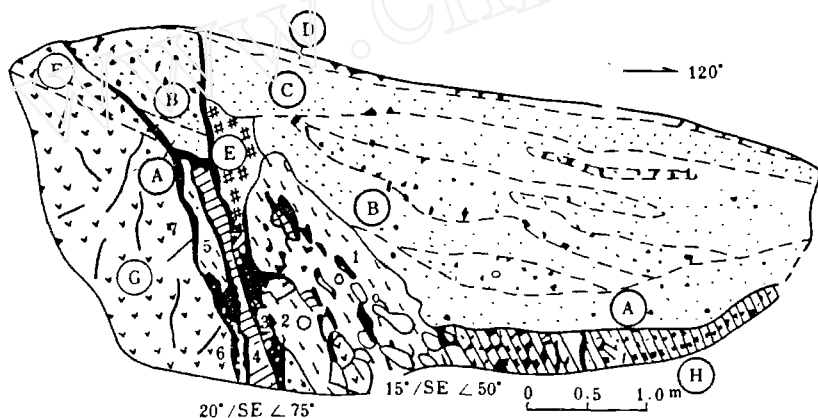


图 4 莒南县岭泉左山炸药厂剖面(据高维明等人修改)

- A. 黑灰色含砾砂土; B. 灰色含砾石、粗砂透镜体的中细砂; C. 灰色砂土; D. 表层土;
E. 地震楔(断层泥混杂砂土); F. 火山岩风化壳; G. 早白垩世火山岩; H. 晚白垩世页岩挤压带
1. 紫色断层泥; 2. 黄棕色断层泥含火山岩砾块; 3. 灰绿色断层泥; 4. 绿、紫色断层泥;
5. 黄褐、灰绿色断层泥; 6. 灰白色断层泥; 7. 白色粉末状断层泥

古地震事件是通过剖面中地震楔被错断的土层确定的。第一次事件发生在 A 层沉积之前(约 8395±7 年); 第二次事件发生在 B 层沉积之后(约 4635±100 年), 这时地震楔形成; 在 C 层(1520±90 年)沉积之后, 发生了第三次事件, 这就是 1668 年郯城 8.5 级地震。

总之, 沂沭活断层表现为横向上分带, 纵向上分段的空间分布特征, 以及不同时期断裂活动在空间上的迁移性; 断层在活动时间上表现为阶段性, 间隔性; 活动方式上以粘滑为主, 很可能是通过群集式和长间隔单发式的大震破裂方式进行活动的。

三、郯城 8.5 级地震

公元 1668 年 7 月 25 日山东郯城发生了 8.5 级地震, 震中位于东经 118.5°, 北纬 34.8°, 极震区最高烈度达 XII(图 5)。这次地震振动了中国东部及黄海海域, 日本、朝鲜有感, 是世界地震史上一次罕见的破坏性事件。据史料记载, 郯城、莒县、临沂、沂水等地的各种建筑物几乎全部破坏倒塌, 地面遭受强烈变形。近年来多次考察开挖, 确定了这次地震

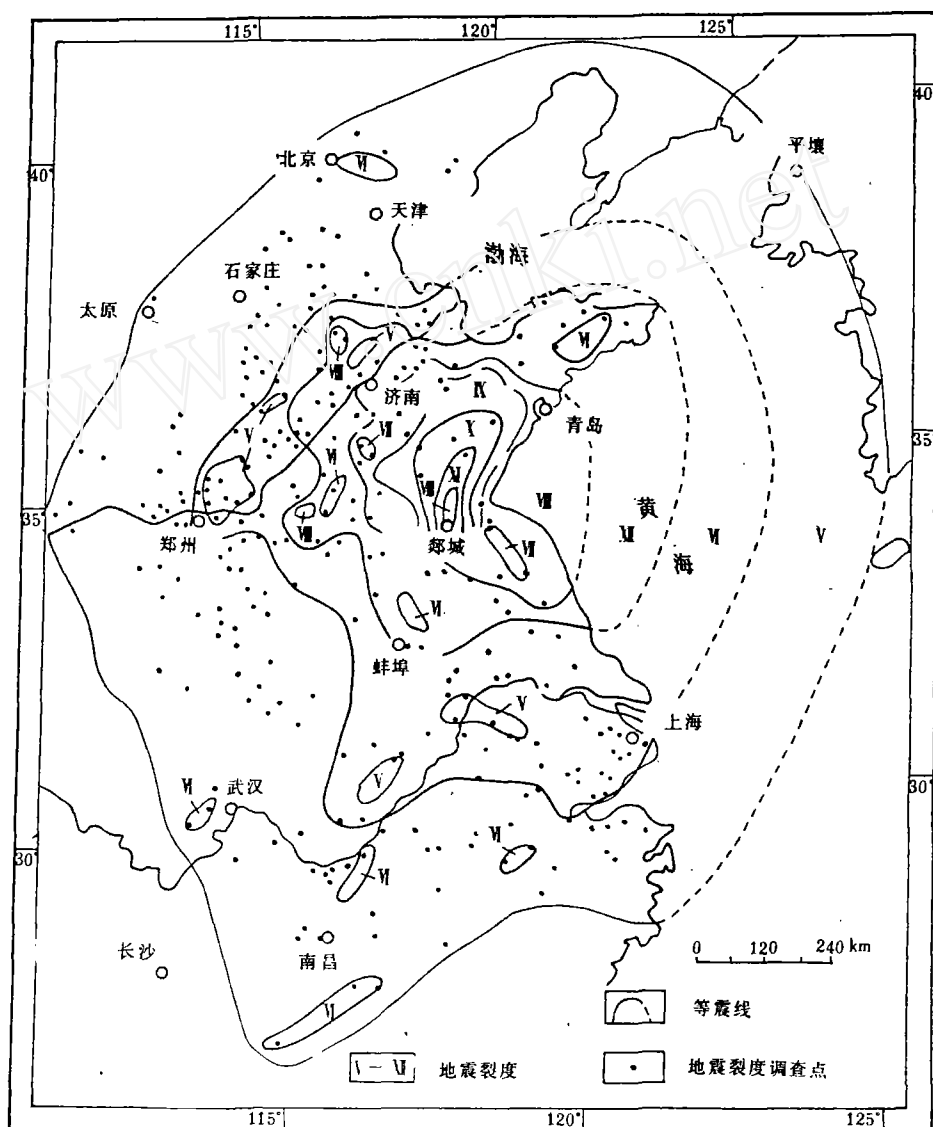


图5 1668年郯城8.5级地震等震线图

断层在岭泉、何庄间,并发现地震滑坡、地震裂缝喷砂等遗迹(图6)。

莒南岭泉至新沂何庄地段发生郯城8.5级地震并不是偶然的,全新世时期曾有多次与之相当的古地震事件也发生在这个地段。为什么这个地区多次发生8级以上的大地震,这是一个重要研究课题。经多方面研究,认为这个地区具有特殊的构造条件:

1. 从区域构造组合分析,郯城地震发生在鲁西断块、鲁东断块、苏北断块、徐淮断块四大断块的结合部位的北侧,是鲁西断块与鲁东断块的结合带。在东北-南西向区域主压应力场与外围现代裂谷发育引起的侧向压力的联合作用下,两个坚硬的块体在沂沭断裂带

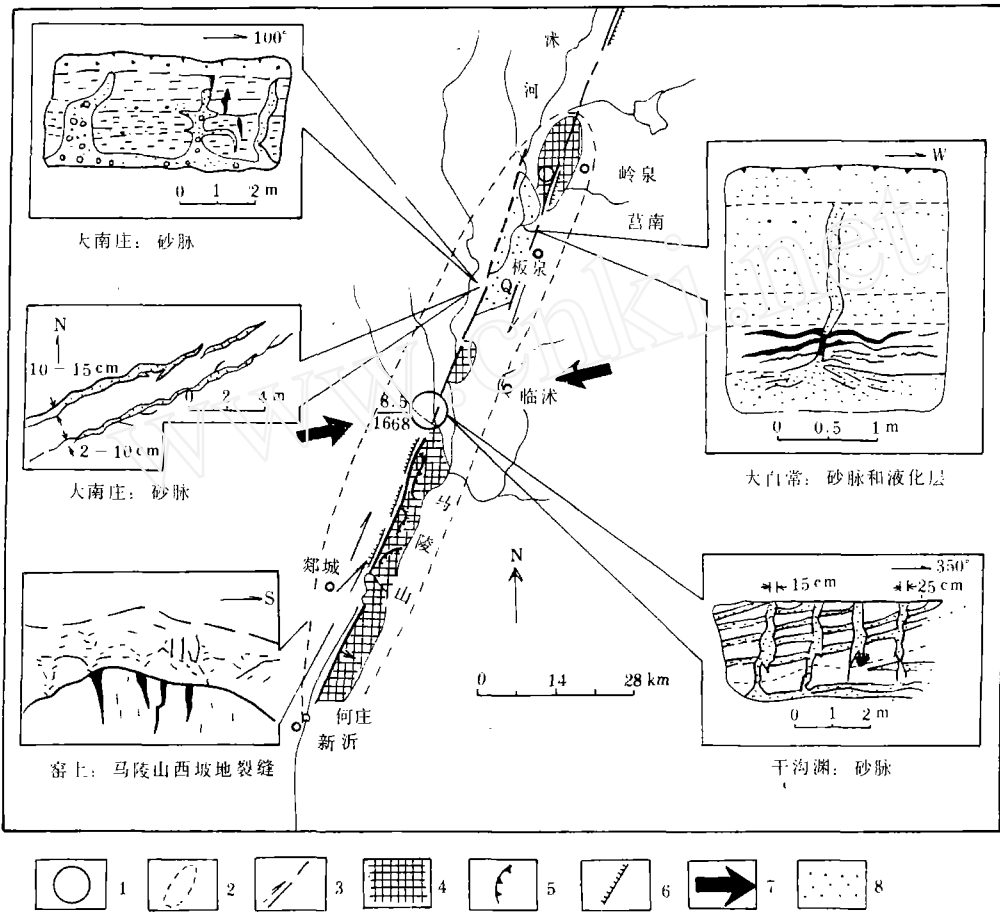


图 6 郟城地震遗迹分布图

- 1. 震中; 2. 极震区; 3. 地震断层; 4. 隆起区; 5. 滑坡; 6. 断层崖; 7. 主压应力方向; 8. 断陷盆地

结合部位相互挤压扭动,这是断裂活动与发生大震的主要构造动力学条件(图 7)。

2. 发震地段断裂结构特殊,是沂沭带四条主干断裂变窄的一段,东侧两条发震断层(F₁、F₂)相互靠拢相距仅 2—3km。同时在发震段的两端有规模较大的北西向断层阻隔,构成断层闭锁,有利于能量大量积累的条件。

3. 郟城地震发生在第四纪晚期活动最强烈的地段,是马陵山强烈断褶隆起与板泉崖强烈断陷的转折地段,也是全新世断层最发育、活动最强烈的地段。

4. 据近几年这个地区的人工地震测深资料和汤永安等人(1988)研究成果^[6],可以看出发震区段震源环境有以下几个特点:

(1)沂沭带深部构造与表层构造一致,具有明显的分段性,发震地段是上地幔和地壳凹陷最强烈的地段,四条主干断裂发育最好,向下延伸均切割莫氏面,形成上宽下窄的楔形断面。

(2)仅在震源区段的中地壳与下地壳内发现有低速层,向南、向北均未发现。这种低速

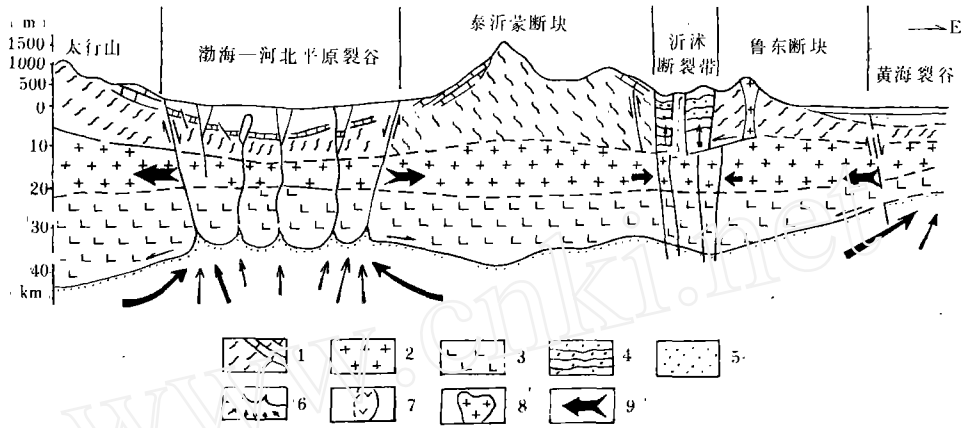


图7 太行山—黄海地壳剖面及运动机制示意图

- 1. 变质岩结晶基底与古生代沉积盖层; 2. 花岗质岩层; 3. 玄武质岩层; 4. 白垩纪火山岩及碎屑岩;
- 5. 新生代沉积; 6. 莫氏面及地幔物质贯入; 7. 新生代玄武岩; 8. 花岗质侵入体; 9. 地壳各部分运动方向

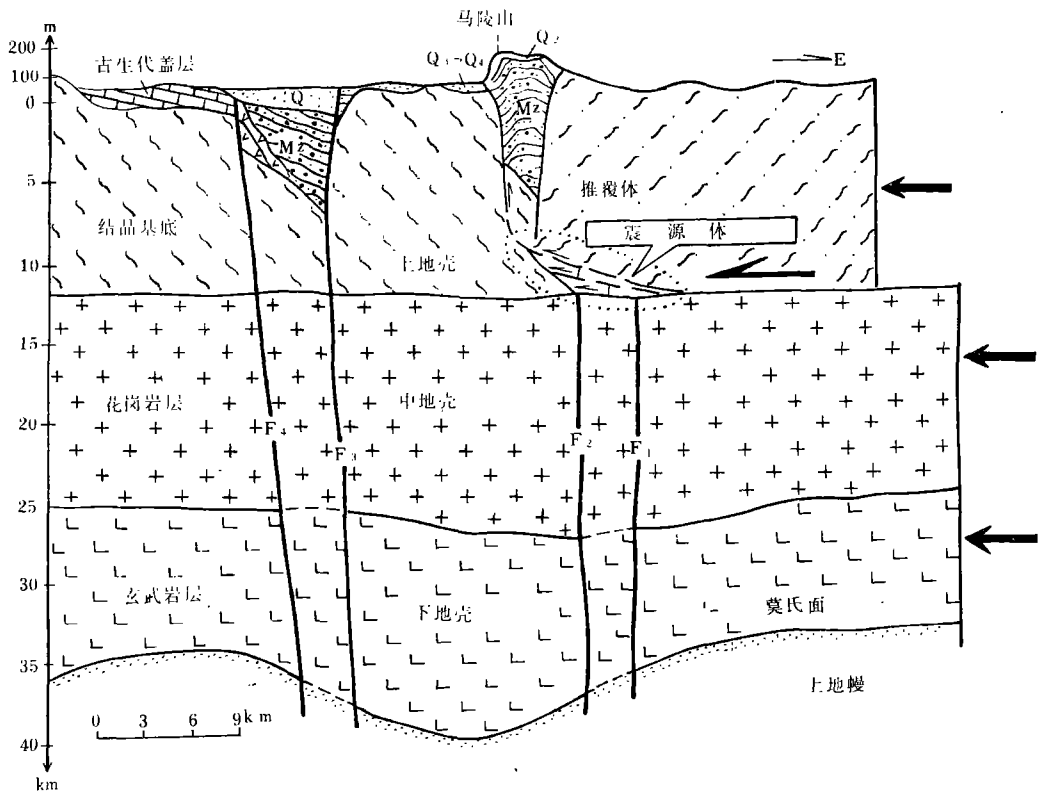


图8 郯城地震发震机制示意图

层的存在很可能为震源区能量的积累、震时的破裂滑动提供了重要的条件。

(3)在郯城地震区段,发现东侧两条断裂(F_1 、 F_2)在地表出露的位置与深部断裂比较,由东向西推移了 6km。这个滑动面在 10km 以下与中、上地壳的界面一致。

综合分析区域构造背景,沂沭活断层的一系列特征以及郯城地震区段深浅特殊构造条件,作者认为自晚更新世以来,郯庐断裂带沂沭活断层段两侧的地壳在北东-南西向区域主压应力场的作用下,沿东地堑中 F_1 、 F_2 断裂相互挤压扭动,形成一条长达 360 多 km,具有时空强活动非均匀性的最新活动构造带。在莒南岭泉至新沂河庄多次发生 8 级以上大震的地段有着特殊的构造条件。联系这段表层沂沭断裂带变窄、 F_1 与 F_2 两条断裂相互靠拢、晚更新世以来强烈褶皱隆起形成马陵山以及马陵山西坡活断层面向东缓倾等特点与东地堑中 F_1 、 F_2 断层位置沿中、上地壳界面(10km 以下)向西水平推移 6km 是有生成联系的。很可能在这个两端有北西向断裂分割,深部具有滑动条件的地段,在中地壳以上形成了一个大型推覆构造体,也就是说东侧的上地壳在这一段强烈的向南西推覆,形成最新的马陵山褶皱隆起带,马陵山西侧的逆掩断层就是推覆体的前缘。郯城 8.5 级地震及多次与之相当的古地震事件在这个地区发生,很可能与这个大型最新推覆体的活动有关(图 8)。这是一个粗浅的认识,有些问题有待进一步研究。总之,郯城 8.5 级地震发生在一个即有区域构造背景,又有局部特殊构造条件的复杂构造环境之中,是板内 8 级以上大震的一种发震构造类型,与中国西部及美国西部地区一些典型走滑断裂带上的发震构造类型不同。

作者在野外考察研究以及本文的写作过程中得到了丁国瑜先生的指导帮助,在此深表感谢。

参 考 文 献

- [1] 刘昌铨等,1983,连云港-临沂-泗水测深剖面及临沂 $8\frac{1}{2}$ 级地震深部构造背景。地震, No. 3。
- [2] 徐嘉伟,1980,郯庐断裂带巨大的左行平移运动。合肥工业大学学报,1 期。
- [3] 高维明、李家灵、孙竹友,1980,沂沭大陆裂谷的生成与演化。地震地质,3 期。
- [4] 高维明等,1988,1668 年郯城 8.5 级地震的发震构造。地震地质,3 期。
- [5] 郑朗荪等,1988,郯庐断裂带的分段与沂沭断裂的活动性。地震地质,3 期。
- [6] 张碧秀、汤永安,1988,沂沭断裂带地壳结构特征。地震地质,3 期。

THE ACTIVE FAULTS IN THE TANLU FAULT ZONE AND THE STRUCTURAL CONDITIONS OF THE TANCHENG EARTHQUAKE ($M=8.5$)

Li Jialing

(Seismological Bureau of Shandong Province)

Abstract

The Tanlu fault zone, a NNE fault zone in east China, has a complex internal structure and a broad scale. It is about 2400km long within China. This fault zone has experienced a series of very complex tectonic movements with left lateral strike—slipping, magma activity, rifting, compresso crumpling and right—lateral strike—slipping and thrusting. In the neotectonic stage, the segmented activities are obvious along the Tanlu fault zone. Along the Yishu fault segment the new activity of faulting is strikingly obvious. Until the late Quaternary there was a 360 km long active fault zone. The new activities of the fault are characterized by the nonuniform spatial distribution of faulting and the intermittence of faulting. The active pattern is strike—slipping by way of the intermittence of faulting and the grouping of rupture events.

The 1668 Tancheng earthquake ($M=8.5$) and the Paleoeearthquake events of Holocene, which occurred repeatedly in the middle of the Yishu active fault, are controlled by special tectonic conditions. By analysing the surface and deep structures and the media-conditions, we infer that there is a new tectonic nappe formed in the middle—upper crust in the Malingshan area of Tancheng. Under the action of the regional principal compressive stress field, the nappe overthrusts southwestward in the fault zone. The 1668 Tancheng earthquake and the paleoeearthquake events were probably intimately related to the movement of the nappe structure.