

阿斯南地震地质条件与地震形变带特征

陈志泰 才树华*

(国家地震局兰州地震研究所)

摘 要

本文介绍了阿斯南地区的地震和地质概况,在此基础上重点论述了构造的成生、发展与地震形变带特征,认为谢利夫盆地是晚新生代以来逐渐发展形成的,北东向阿斯南断层第四纪以来活动强烈,本次地震是该断裂继续活动的结果。

据中、法两国科技协议附件一的要求,由国家地震局地质研究所和兰州地震研究所五人组成的活断层考察组于1986年6月8日至7月2日赴法国和阿尔及利亚考察访问。重点对阿尔及利亚阿斯南地震进行了考察研究。该次地震发生于1980年10月10日,震后不久法国、英国、德国、意大利及阿尔及利亚等国科学家相继进行了多次考察,但仍有些尚待深入研究的问题。这次中、法、阿三国科学工作者在以往工作的基础上,对本次地震进行了深入的考察研究与测量,获取了大量的资料与数据,为深入研究强震重复率和地震的成因机制创造了条件。本文重点阐述了地震的地质条件与地震形变带特征,进而对地震的成因机制进行探讨。

一、地震概况

地中海周围地区为强震活跃区, $M \geq 7$ 级的地震频繁发生,阿斯南地震就是其中之一。这次地震发生在阿斯南盆地内,微观震中在阿斯南市以东约10公里处。其地震参数为:

震中: 36.14°N , 1.41°E ; 震级: $M = 7.3$ 级; 震源深度: $h = 10 \sim 14$ 公里; 震中烈度: $I_0 = X$ 度。

在阿斯南盆地及其邻近地区历史地震也比较活跃。自上世纪中期至今本区的破坏性地震较多,发生在阿斯南附近的 $M \geq 5$ 级的地震有8次,发生于特内斯地区的有三次,最大震级为6.7级。平均约16年发生一次破坏性地震。

这次阿斯南7.3级地震是本区最大的一次地震。据介绍震前曾发觉动物异常等前兆现象,但未引起人们的重视,地震发生后造成重大的伤亡和经济损失。这次地震的极震区在阿

* 共同赴法国、阿尔及利亚考察访问的还有国家地震局地质研究所魏顺民、向宏发、陈洪飞。

斯南至福达镇一带，震中烈度为X度，等震线圈闭较好，X度区长轴为N30°E，而Ⅵ—Ⅷ度区为N45°E方向，后者与地震断层走向更为接近（图1）。

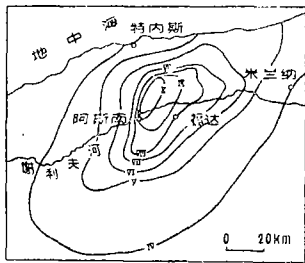


图 1 1980年阿斯南7.3级

地震烈度等值线图

Fig.1 Isoplethis Curves of intensity of Asnam earthquake (M=7.3) in 1980

震后余震仍较频繁，自1980年10月10日至1981年2月5日共发生M≥5级的地震15次，最大强余震为6级（表1）。

表 1 阿斯南地震余震序列

发震日期	1980年							1981年			
	10月10日	10月13日	11月8日	12月3日	12月5日	12月7日	12月31日	1月15日	1月31日	2月1日	2月5日
震级 Ms	5.7, 5.2, 6.0, 5.2,	5.2	5.3	5.0	5.2	5.6	5.2	5.1	5.1 5.0	5.7	5.0

二、谢利夫盆地地层与构造形变

阿斯南地震发生在阿尔及利亚北部濒临地中海的谢利夫盆地中。该盆地为一北东东向的长条状山间盆地。地貌上为低缓的平原，丘陵区，其南北两侧为高山区，盆地南侧为瓦基尼斯山，北边为贝尼梅纳卡山脉（图2）。

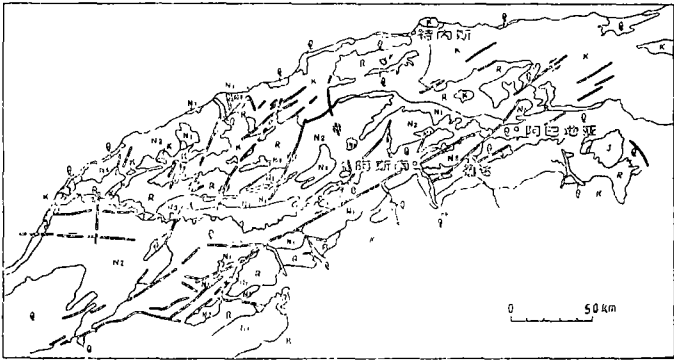


图 2 谢利夫盆地地质构造图

Fig.2 Geologic Structure of chelif basin

（一）地层分布与地层层序

由图2可见，该区地层分布显示了一定的规律性，即两侧高山区多为侏罗系，白垩系地层分布区，中高山区为第三系分布区，盆地内的丘陵平原区为晚第三系的中新统，上新统与第四系地层分布。

其岩性特征南北两侧略有差异。盆地南侧所见侏罗系地层为海相深灰色厚层含泥质灰岩,富含菊石类等浅海相瓣腮类化石。白垩系地层分布更为广泛,地层走向为近东西向,倾向北,倾角 $20^{\circ}\sim 64^{\circ}$ 不等,其岩性为浅变质砂岩及灰岩。第三系未分层不整合在白垩系地层之上,其岩性为灰绿色砂岩,泥岩夹泥灰岩。盆地北侧地层由北往南依次为:白垩系,岩性显示变质的灰黑色、灰绿色砂岩→泥岩→灰岩反复交替出现,为一套复理石沉积建造,褶皱剧烈,产状变化很大,但地层的总体走向为北东东向;第三系为灰绿色砂岩,泥岩夹灰岩,与下伏白垩系为不整合接触;中新统下部为海相灰色、灰白色、灰绿色硅藻土层,上部为石膏层;上新统为一套陆相红层沉积,下部为桔红、棕红色砂、泥岩层,上部为灰绿色砂泥岩;第四系未见早更新统沉积,中、上更新统为灰黄色砾岩层,交错层发育,晚更新统则为浅棕色湖相泥岩;全新统为红色松散的红土层,富含钙质,在底部常形成钙质淋滤层,地貌上呈阶坎地形。

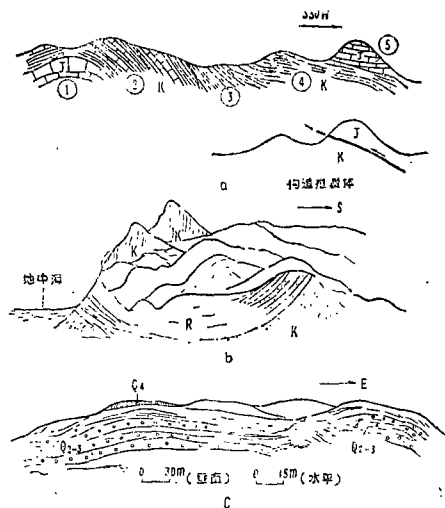


图 3

a.阿特拉斯山某水库东侧地质构造剖面 b.特内斯地地质构造素描图 c.谢利夫盆地北侧第四纪构造素描图

①灰黑色厚层灰岩(J) ②黄色、绿色复理石建造(K) ③黄色、黄绿色泥岩夹砂岩(K) ④灰黄色、灰绿色砂、泥岩(K) ⑤灰黑色、厚层灰岩(J)

(二) 盆地构造形变与演化

谢利夫盆地在大地构造位置上处于地中海构造带南侧边缘,受区域构造运动的作用,在不同的地质时期发生了不同的构造变动,致使不同时代的地层构造变形特征差异悬殊,这就清楚地表明了构造发展的阶段性特征。本区侏罗系,白垩系地层构造变形强烈,造成地层陡立、强烈的褶皱变形与推覆体(图3a、b)。第三系地层构造形变相对减弱,仅形成较平缓的褶皱与断裂,局部褶皱强烈,甚至致使地层倒转。而第四系构造形变则更微弱了,只产生了平缓的褶皱与小规模的断层(图3c)。虽然第四系构造形变程度减弱了,但至今仍在活动。

根据不同时代地层的构造形变,结合沉积岩相特征,对该区中生代以来的构造演化与发展论述如下:

1.中生代早期该区受南北向拉张力的作用,致使海盆扩大,因而堆积了较厚的海相侏罗系,白垩系地层。至中生代末期非洲陆块相对向北推挤,使阿特拉斯山以北,地中海以南的狭长条带区域遭受强烈挤压使之形成北东东向阿尔卑斯褶皱带。该带由三部分组成,谢利夫盆地所在的滨地中海沿岸区为内带,具复理石建造。强大的南北向挤压作用致使中生代地层普遍变质并形成紧密褶皱与构造推覆体。

2.早第三纪区域挤压作用逐渐和缓,本区处于浅海环境,堆积了一套第三系未分层(R)。当进入晚第三纪初期构造活动相对处于挤压松弛阶段,地体下降,海水加深,大量浮游生物繁衍。中新世早期堆积了厚度较大的硅藻土层,晚期构造挤压再次加强,地体抬升,由海变陆,堆积了厚层石膏。中新世晚期是本区极为重要的沉积环境变化阶段,在此以前本区为古地中海的一部分,以后则成为非洲大陆北缘部分。中新世末期,区域构造挤压作用再次加强,使刚刚沉积的中新统地层遭受强烈挤压产生褶皱与断层并形成局部地层倒

转。这次强烈的构造运动奠定了现今谢利夫盆地基本面貌, 同时提供了上新世河湖相堆积的场所。

3. 上新世末期本区又遭受一场构造挤压作用, 使盆地抬升处于侵蚀状态, 致使早更新统地层缺失, 早更新世末至中更新世初挤压相对松弛, 盆地相对下沉接受了中晚更新统河流相及河湖交替相的砂砾岩及砂岩堆积。后期构造挤压力加强, 致使中、上更新统地层褶皱变形并产生断裂。

4. 晚更新世构造运动相对平静, 盆地内普遍堆积了湖相泥岩。自晚更新世后期谢利夫盆地进入现代构造发展阶段。自然景观与现今相似。区内最大水系谢利夫河即处于现今位置, 并在盆地内相应堆积冲积砾石层。据初步构造地貌观察, 认为晚更新世以来谢利夫盆地边缘无明显断裂活动迹象, 构造形变主要集中于盆地内部, 突出的表现是在盆地内产生了一条长近50公里, 总体呈S形, 分支断裂较多, 破裂形变复杂的北东向断裂带, 即阿斯南断层。它的成生发展进一步改变着谢利夫盆地内部构造及地貌形态特征并促使地震的孕育发生。

三、地震形变带特征

阿斯南地震是很典型的地震, 地震形变带非常发育, 而且至今仍保留非常清楚, 深入研究其展布特征, 破裂性质, 运动方式对揭示大震的成因机制有重要意义。

(一) 地震形变带的展布

这次地震的主震震中在阿斯南市以东, 地震后形成了清楚的地震形变带(破裂带), 其总长度约40公里, 呈北东向展布(图4)。

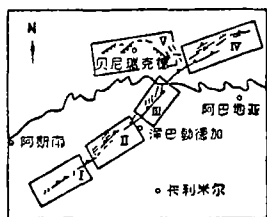


图4 1980年10月10日阿斯南地震的地表破裂分段图

Fig 1 The ground fractures of Asnan earthquake on Oct., 10 in 1980

形变现象的种类繁多, 形式多样。有不同性质的地裂缝, 地震陡坎、压脊、地震滑坡与垮塌, 地层断错, 河流水系扭曲和公路、水管、铁轨弯曲变形等现象。另外, 还在福达河和谢利夫河交汇处形成了长两公里多的地震湖和大量的喷沙、冒水现象。

地表破裂带分布形式复杂, 但也大体显示了一定的规律, 即东部山体边缘为主形变带, 显示明显的挤压逆冲性质; 而西部的一条其展布形式, 延展方向, 破裂性质均较杂

乱, 为次形变带, 是在主破裂发育形成过程中伴随产生的地表变形。

(二) 形变带特征

主形变带自阿斯南以东沿北 50° — 70° 东方向延伸, 直至阿巴地亚村北, 全长近40公里。该带以垂直位移为主, 仅局部具有左旋扭动, 因而挤压特征相当明显。该带可分为斜列的两个带。无论是北带还是南带, 其位错幅度各不相同。南带之位错幅度一般为2—2.5米, 但中间段最大, 在泽巴勃德加村北之地震陡坎高达6米, 而向两头则逐渐降低, 以至消失。北带之垂直位错幅度亦较大, 最大者达5米。主破裂带和基岩断裂吻合一致, 是继承性活动而产生的, 而基岩断裂在第三纪后已逐渐形成。

次形变带其展布方向, 破裂性质均不一致, 其成带性较差, 仅集中分布于某些区段。变

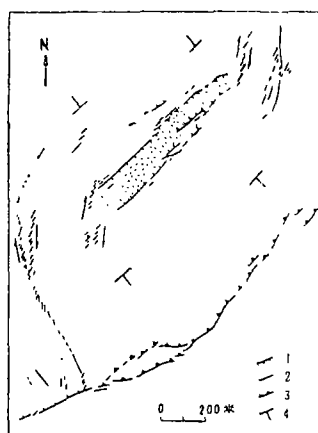


图5 拱曲、褶皱、地堑图

1.正断层 2.张性断层 3.压脊与逆断层 4.层理面倾斜

Fig.5 The arch folding graben

形幅度各处不一,一般拉张宽度为0.5—1 m,垂直落差为1 m左右,水平位移并不明显,仅据局部裂缝或陡坎的排列形式显示出左旋扭动。

总观整体形变带的特征,由于不同地段各具特点,将分段叙述之。

I 该段位于阿斯南的西南部,形变现象较为简单,仅有一些垂直落差0.5米左右的地震陡坎,这些地表形变吻合在上新统地层内形成的逆断层或挤压破碎带之上。

II 该段位于泽巴勃德加村西南部,此段地震形变较为复杂(图5)为雁行状地裂缝,陡坎和地堑式跌落带并显示如下特点:

1.由于挤压或局部的扭动作用,在形成陡坎的同时常在其旁侧形成斜列排列的地裂缝,这些次级裂缝或下陷带清楚地指示了扭动方向。

2.上图表明该段地堑式陷落比较发育,在中间就是一个很大的地堑带,两侧为地震陡坎,中间整体下陷。

3.地裂陡坎多为正断层型的。由于断层两盘的相对升降形成地震陡坎。而往往切割或错断地层(图6 a、b)。这两张图清楚地表明地震陡坎将第四系钙质层有规律地错断,均显示了左旋扭动关系,但位错距离各不相同,反映了断层位错频次的不同。

4.该段主形变带分布于东侧,为高4—5米的逆冲陡坎,陡坎坡度变化较大,为15°、20多度,30°、50°~70°不等,显示不同层次的陡坎特征。据图6 c,可见1980年的地震陡坎是迭加在老陡坎之上,二者的高度和坡度均截然不同。前者的坡度为30°左右,最突出的一段高差为4~5 m;而后者陡坎高度为1 m左右,坡角为50°~60°(详见图6 d)。

III 该段与前者相类似(图7 a)。主形变带分布在东侧;西侧为次形变带,往往呈S形或反S形和雁行状分布,在其南部亦形成小型地堑式下陷区,而整体则为平缓隆起状,表现为两侧向外倾斜,中间为下陷区。

在泽巴勃德加村北有一明显的陡坎,震后垂直落差高达6 m,至今仍保留有清楚的斜坡,该处水平位移亦较清楚,但 $v:h$ 为5:1,可见垂直位错幅度远大于水平位移幅度。

在福达村北约3公里处,主形变带显示了十分明显的挤压性特征,既有破碎现象,亦有逆冲的迹象,显然是在挤压作用下逐渐发展的,而地震陡坎就在它的旁侧,可见陡坎的形成直接和断层活动有关。据河流阶坎的变化显示了多期活动的征象。图7 b表明了有高差不同的五期陡坎,最外边的陡坎则是1980年地震时形成的。以上现象为该处垂直运动的表现,此处水平扭动作用也十分醒目,据水系测量结果其左旋位错量达12米。

另外,在福达村以北4公里处的山坡上,新、老陡坎的重迭现象也十分明显。老陡坎高达7—8米,其坡度显示了10°、20°、30°的多层次变化,而1980年地震时所形成的陡坎仅高1米多,坡角60°以上,其坡度变化情况见陡坎实侧剖面图(图7 c)。

IV 该段位于整体形变带的东北端,系另外出现的一条斜列形变带。该形变现象也极为

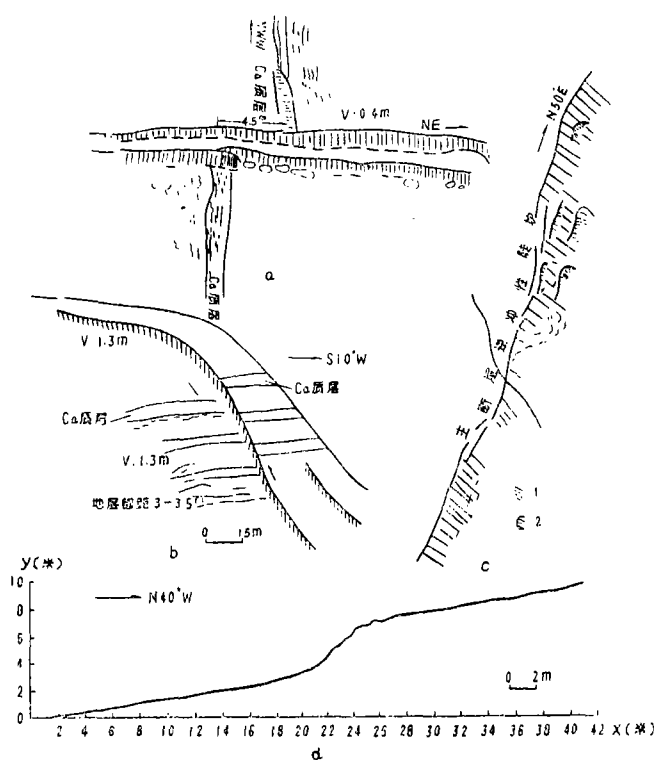


图 6

a. 北东向裂缝切断钙质层 b. 地震陡坎及地层错动 c. 逆冲型陡坎示意图 d. 泽巴村西南北东向地震陡坎
1. 老陡坎高 4—5 m, 坡角 30° 2. 1980 年新陡坎高 1 m 左右, 坡角 50°—60°

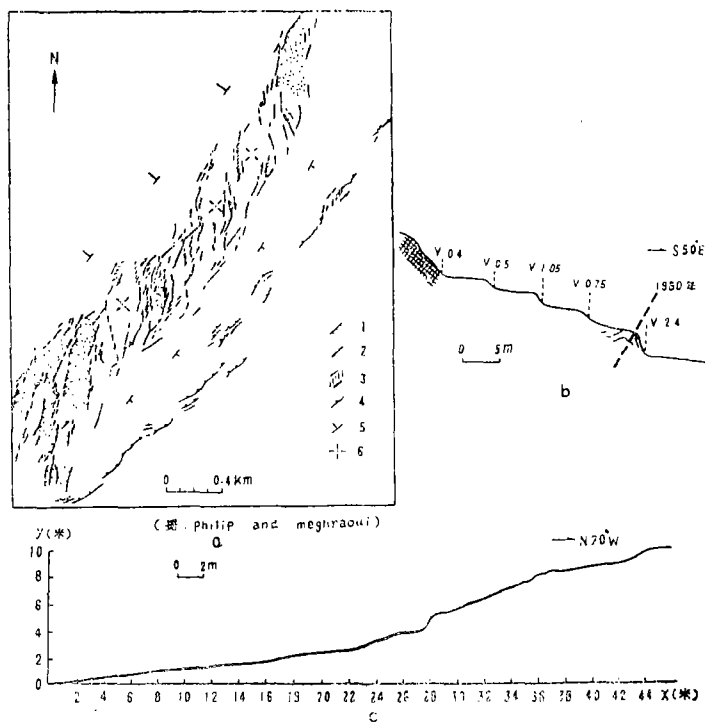


图 7

a. 第三段形变带分布图 b. 福达村北顺沟陡坎剖面 c. 福达村北山梁上地震陡坎坡度变化图
1. 正断层 2. 张破裂 3. 雁行状破裂 4. 逆断层及压脊 5. 层面倾斜 6. 水平层

明显,为挤压逆冲后致使上部下掉而造成的正断层陡坎,其垂直位错幅度很大,一般为2—3米,最大者达5 m。该带的西延部分在某河沟内由于地震陡坎上冲将河堵塞,致使河流改道,再往西延则形成陡坎、滑坡、地裂带(图8a)。该带的东延部分除出现多条陡坎外,还因地震陡坎的隆升而形成堰塞湖。还有一种有趣的现象,就是在岩层的层面上由于1980年地震的活动而造成10余厘米的垂直位移,基岩地层相对上升了10余厘米,界面非常清晰。

V该带分布在贝尼瑞克德村附近,多为北西向地裂,陡坎和北东向的裂缝、陡坎所组成。该带之形变现象主要是1954年6.7级地震时所形成的。但是1980年阿斯南地震时该地区仍有活动和影响,致使出现了清楚的陡坎重迭现象(图8b)。这是一张平面剖面图,图上高陡坎是1954年地震时形成的,其坡度仅为 30° 左右,陡坎高度为2~3米。而低陡坎则是1980年时形成的,坎高1米左右,坡度很陡近 70° 。这两次地震所形成的陡坎迭加在一起,对照性十分明显(详见实测陡坎剖面图8c)。

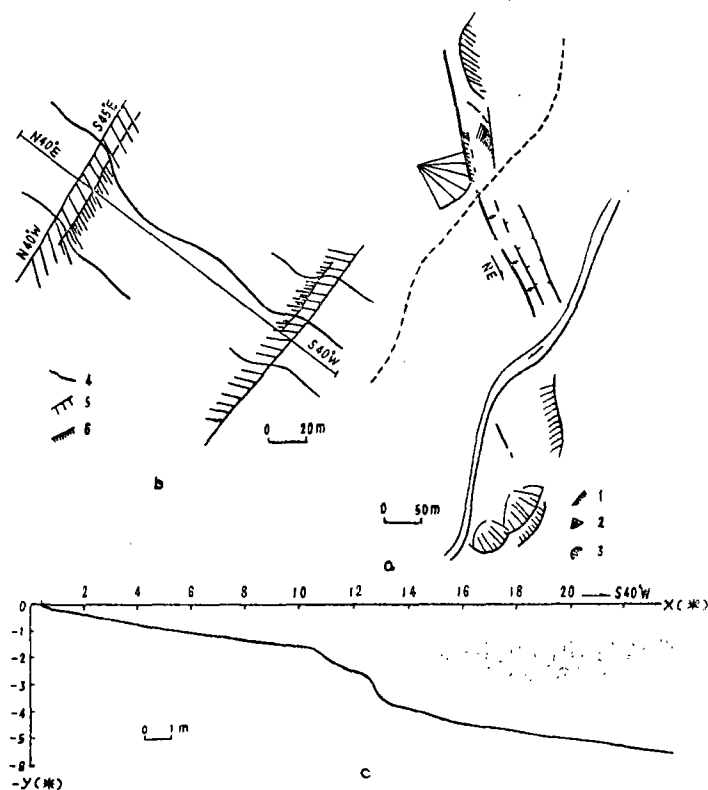


图 8

a.某沟形变平面图 b.贝尼村附近陡坎重迭平面剖面图 c.贝尼村附近地震陡坎坡度变化
1.地震陡坎 2.洪积扇 3.滑坡 4.地形剖面变化 5.1954年地震陡坎 6.1980年地震陡坎

(三) 形变带的性质与受力分析

已如前述主、次形变带的特征有着明显的差异。主形变带继承了晚新生代以来的断层活动特征。

第一、晚新生代特别是第四纪以来阿斯南断裂带明显的活动。产生了挤压逆冲性质的断层,无论是南端还是北部都明显地表现出来,有的是挤压褶皱,有的是挤压破碎带,也有的是逆冲性断层,主形变带与断裂带吻合一致。

第二、这次地震该带多以陡坎的形式表现出来，除个别地段外，主要是显示了垂直位移，而且位移幅度很大。就连东北端虽然地表为正断型陡坎，而其形成也是由于挤压上冲致使上部下陷的结果。

第三、陡坎多属褶皱型的上冲陡坎，清楚地表明是挤压性质的。

第四、该形变带形成较早，显示了多层次的坡度变化，表明活动频次较高，但其活动性质相似。而1980年的地震陡坎又迭加吻合在老陡坎之上。这也表明是断裂继续活动的结果。

据此认为该形变带是继承了晚新生代特别是第四纪以来的断层活动性质与活动方式，故属于挤压逆冲性质。

西带成带性差，就其组合形式，展布方向而言均较复杂，但是绝大多数都是正断层性质的陡坎，由其组合方式也多显示为张扭性质，因而认为这些众多的形变现象绝大多数是显示了张性特征。

这样两种性质的形变带总的是在北北西向挤压作用下所形成的，在东边形成了挤压逆冲带，在西边形成了张性，张扭性形变现象，大体成带分布。西侧这些形变现象的形成是在挤压作用下所产生的纵张性质的裂缝或陡坎，因而属低级别，低序次的形变现象，所以规模较小，规律性较差。

四、构造应力场与地震成因机制

根据破裂带的性质以及地震形变特点，表明这次地震是逆冲型的以倾滑为主的地震。虽然有的地段也表现了走滑运动的某些特征，但这都是挤压状态下的局部扭折滑动而已。无论是断裂的性质，活动方式还是形变带的活动性质均表明本次地震是在北北西向挤压作用下而产生的(图9a)。在近南北向的挤压作用下晚新生代特别是第四纪以来谢利夫盆地逐渐成生，发展形成了略作斜列排列的盆地和北东向断层—阿斯南断层，而本次地震的发生是北东向断层继续活动的结果。如果垂直断裂带与形变带作一剖面图(图9b)，便可进一步分析断裂的活动关系以及破裂带产生的原因，便于合理的解释大震的成因机制。认为该区在北北西向主压应力作用下首先形成平缓的拱曲褶皱，当继续作用时拱曲作用加强，因而便在其东缘产生了挤压逆冲破裂带。在拱曲的顶部(即西侧)由于挤压拱曲作用的加强而产生了纵张

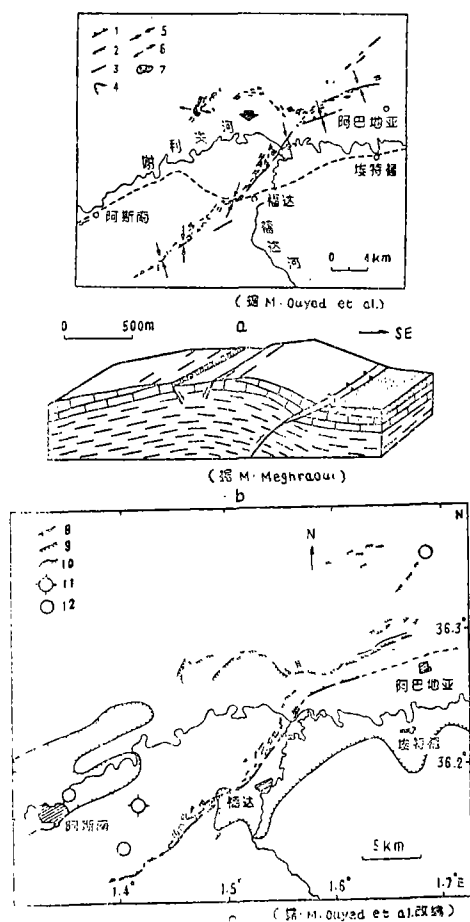


图 9

- a. 阿斯南地区构造应力场分布图 b. 形变带横剖面图
c. 地震形变带与主要地震震中分布图
1. 逆冲性断层 2. 正断层 3. 性质不明断层 4. 主动力作用 5. 挤压力方向 6. 拉张力 7. 地震湖 8. 主要逆断层 9. 正断层 10. 盆地边界 11. 主震 12. 5—6 级地震

裂缝和不同形式,不同性质的裂缝与陡坎,有的下陷形成地堑沉降带,因而造成西部带的形式复杂化。由图9c根据形变带的活动性质,展布特征,应力作用方式以及中强震的分布等情况分析,由于北部形变幅度大,且有中强震两头跳的特点认为该次地震可能是先由北部破裂而发震的。另外,在挤压逆冲过程中,推测断裂上盘为主动盘,由于上盘沿主断面的剧烈上冲,致使上盘形成了一系列的破裂和形变现象,因此上盘显得特别破碎而复杂这是容易理解的。西侧小震居多,密集分布的特点也为这一论点提供了佐证。

参 考 文 献

- [1] (法) R. 马达利哥, 1980年10月10日阿尔及利亚阿斯南地震的研究, 大陆地震活动和地震预报国际学术讨论会论文集, 地震出版社, 1982.
- [2] H. Philip and M. Meghraoui, Structural analysis and interpretation of the surface deformations of the El Asnam earthquake of October 10, 1980, *Tectonics*, Vol. 2, No. 1, 1983.
- [3] M. Ouyed et al., An aftershock study of the El Asnam (Algeria) earthquake of 1980 October-10, *Geophys*, 1983.
- [4] M. Ouyed, M. Meghraoui et al., *Seismotectonics of the El Asnam earthquake*, 1981.
- [5] 楚旭春、范本贤, 非洲地质图 (1:1800万), 地图出版社, 1982.

GEOLOGICAL SITUATION AND CHARACTERISTICS OF SEISMIC DEFORMATION ZONE OF ARSNAN EARTHQUAKE

Chen Zhitai Cai Shuhua

(Ianzhou Seismological Institute, State Seismological Bureau, China)

Abstract

This Paper introduces the earthquake and the geological situation in Arsnan region, on the base of which are discussed the formation of the structure and its development and the characteristics of the seismic deformation zone. It is considered that Shelifu Basin has been developed and shaped since late Cenozoic Era, NE Arsnan fault has been in a strong activities since Quarternary and this earthquake is the result of the continuous activities of this fault.