

学术争鸣

编者按:自今年开始,《西北地震学报》开辟一个“学术争鸣”栏目.目的是为一些新的研究、新的观点、新的见解提供一个发表的空间.本栏目所刊登的文章不要求一定是完整的论文,只求是在根本上的创新和争鸣.本栏目暂时不定期刊出.欢迎投稿.

本期刊登的是一篇讨论1920年海原大地震成因的文章.作者根据多方面的资料对该次地震的成因提出了新的认识.

地震成因是地震学领域内一切研究的基础.关于地震的成因目前并没有定论,欢迎对地震成因开展讨论.

1920年海原大地震与构造关系的讨论^{*}

向光中

(中国地震局兰州地震研究所,甘肃兰州 730000)

摘要:根据人工地震、重力、地质、航磁、大地电磁测深、地震活动及地球化学资料,研究了1920年海原大地震与构造的关系.结果表明:海原断层实际是深度不超过10 km的铲状逆掩推覆断层,而海原大震的震源深度为15~20 km,因此,海原断层与该次大震的发生无关.海原大地震的发生既与延至软流层顶部的近NS向和近EW向的构造有关,也与软流层的物质活动有关.海原断层上的各种地震形变为地震诱发的产物.

关键词:宁夏;海原地震;地震断层;地震成因;东西向构造;南北向构造;环形构造

中图分类号: P315.1 文献标识码: A 文章编号: 1000-0844(2001)01-0092-07

0 引言

1920年12月16日海原8.6级地震不仅是中国历史上最大的地震之一,而且也是世界上最大的地震之一.国内外许多科学工作者都曾对其进行过考察和研究,并发表了许多著作^[1,2].这些研究的共同结论是,海原地震的发生与海原断层的活动有关.

然而,作者通过对海原地震及现有断层的考察^①和多年的综合分析研究认为,海原地震的发生与海原断层的活动不存在成因上的联系,而是与深部近EW向和近NS向的构造有关.地震发生的机制既与地球本身的转动、分层结构有关,也与岩石圈内的物质活动有关.

1 海原地震与构造的关系

海原地区最引人注目的断层是一条NW走向长达100多公里的海原断层.海原大地震的

收稿日期: 2000-03-08

^{*} 中国地震局兰州地震研究所论著编号: LC2001011

作者简介: 向光中(1932-),男(汉族),湖南芷江人,副研究员,现主要从事地球动力学研究.

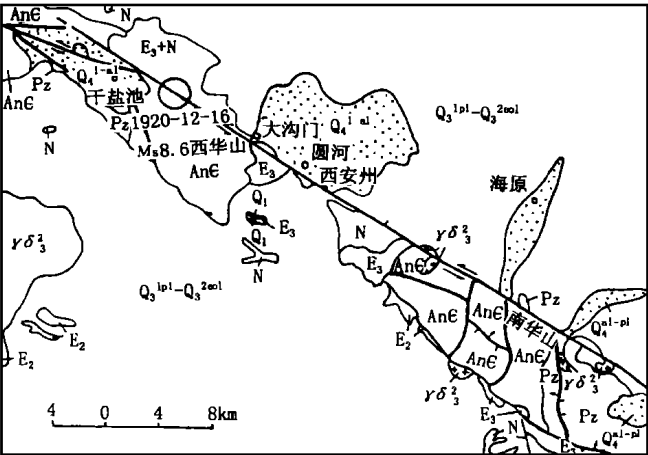
① 参加野外考察的还有:吕德徽,陈文彬,张志坚,邓智明和徐小卫等.

震中位于该断层附近(图 1)。由于该断层具有最新活动特征及保留有地震活动时的形变, 因此被认为是海原地震的发震断层。该断层一直被认为是一条具有逆冲性质的平推断层, 有的学者认为该断层是一条深大断裂, 有的认为属于壳内断裂。近年来作者根据有关资料研究认为, 海原断层是一条深度不大的逆掩推覆构造。

1.1 人工地震资料解释结果

1985 年长庆石油勘探局在海原西面的圆河进行了地震勘探, 取得了一条质量较好的数字剖面, 见图 2^[3]。圆河地震剖面不仅穿过海原断层, 而且通过 1920 年海原地震的震中区。从图 2 可以看到, 海原断层的倾角的总体趋势大约 45°左右, 按此倾角推测向下延伸, 其深度小于 10 km。而海原地震的震源深度为 15~20 km^[1, 2]。汤锡元等^[3]认为, 该断裂的断面上陡下缓, 前寒武系呈叠瓦状覆盖于中生界之上。这表明海原断层向下延伸未达到震源所在的深度。

1966 年以前, 银川石油指挥部的综合研究队^②曾在海原地区进行过地震勘探, 在海原西北的西安洲、涝坝和西华山东侧均发现有近 NS 向的断裂构造。



AnE: 前寒武系; Pz 古生界; E3: 渐新统; N: 上第三系; E3+N: 渐新统和上第三系(未分); Q3^{1pl}~Q3^{2col}: 下更新统; Q3^{1pl}~Q3^{2col}: 上更新统洪积层和风成黄土; Q4^{1-pl}: 全新统冲洪积层; Q4^{1-pl}: 全新统湖积和冲积层; $\gamma\delta_3$: 加里东期花岗岩岩

图 1 南、西华山北麓断层和周围地区地质构造略图^[1]

Fig. 1 Sketch of fault at the northern foot of Nanhushan and Xihuashan Mt. and geologic structure around.

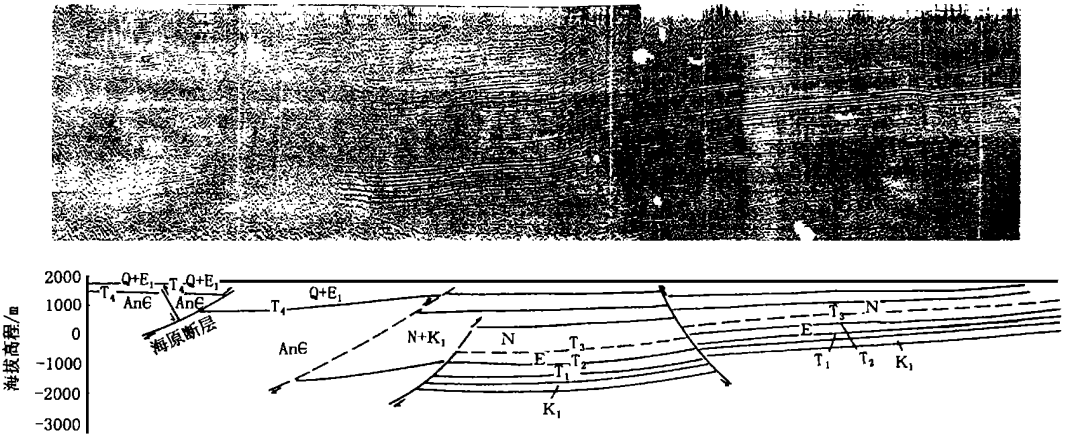


图 2 圆河地震剖面(上图为时间剖面, 下图为解释剖面)

Fig.2 Section of artificial earthquake sounding in Yuanhe region.

1.2 重力资料解释结果

根据梁桂培等人^[4]的资料, 海原附近莫霍面等深线呈横卧“S”型, 其方向近 EW。海原大震

② 银川石油指挥部综合研究队, 六盘山北部构造专题研究报告, 1966。

的震中位于该带内。

从图 3a 可以看到, 沿海原断裂带从西华山、南华山到六盘山东麓有一条 NW 向的弧形重力梯级带, 并出现重力高。延拓一个网格距之后, 重力高已不存在, 反映了海原断层上盘的山系是一个滑脱面较浅的大型推覆体。再向上延拓 2 个网格距和 4 个网格距之后, 图中海原断层的特征消失, 说明该断层向深部延伸有限, 也反映其倾角在浅部较陡, 而深部较缓^[3]。随着延拓高度的增加, 海原地区重力低值区的面积越来越大, 其长轴方向由 NW 渐变为近 NS 向。

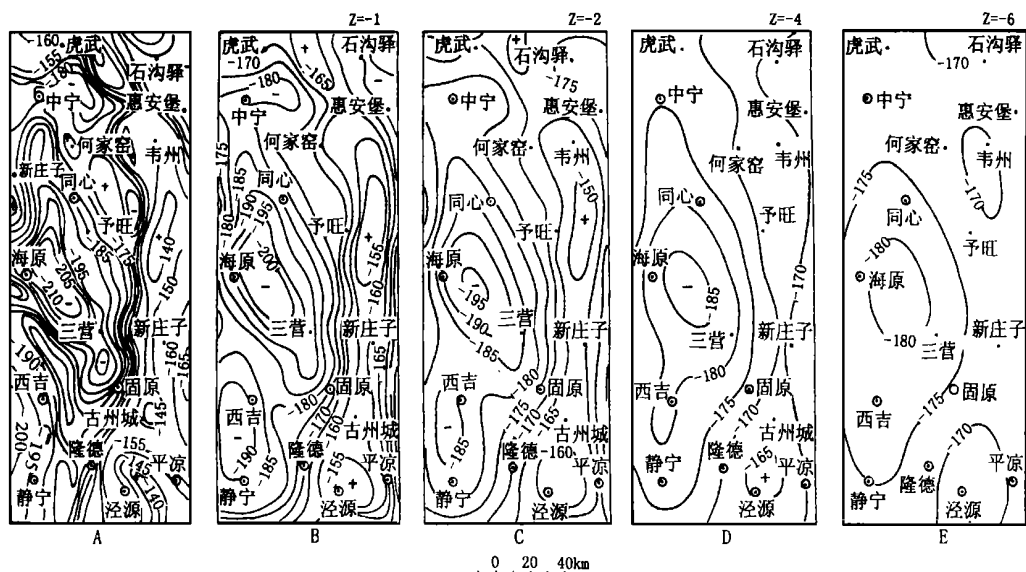


图 3 海原—平凉段布格重力异常与延拓重力异常图^[3]

Fig. 3 Gravity anomaly and extended and developed up anomaly from Haiyuan, Ningxia to Pingliang, Gansu.

在海原地区的 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 重力异常图上^[5], 出现有近 EW 向和近 NS 向的重力均衡区。海原大地震发生在这 2 个方向的重力均衡区的交汇处。

1.3 磁异常特征

陈爱玲等^[6] 研究发现, 由海原经靖远, 向西至青海西宁, 地壳深部可能存在一条长达 450 km 的 EW 向断裂。沿该带南北二侧磁异常发生 EW 向错动或等值线呈 EW 向同步扭曲。姜枚等人^[7] 的研究结果也反映出这一地区 EW 向构造的存在。

1.4 大地电磁测深资料解释结果

大地电磁测深资料显示, 海原至甘谷、礼县一带的软流圈顶面的埋深在 90 km 以下, 小于其二侧的深度, 大致形成一个近 NS 向的隆起带, 许多大地震发生在该带内。此外, 从榆中、会宁、西吉至庆阳还有一条近 EW 向的隆起区, 海原位于该区的边缘。NS 向的软流层隆起带也是高热流值分布的地带^[8,9]。

1981 年梁恕信、张云琳通过大地电磁测深传递函数的计算推断, 海原地区的构造的视走向在 3 km 之上为近 NS 向, 地下 3~24 km 为近 EW 向^③。

1.5 现代地壳垂直形变测量结果

根据应绍奋等^[10] 的研究, 中国大陆地区东部和西部的地壳垂直形变有着明显的区别, 其分界线大致位于银川—昆明一线。海原地震就发生在这一分界线的范围内。

③ 梁恕信, 张云琳. 利用磁变测深探讨南北地震带北段深部构造特征. 1981.

巩守文^④研究发现, 1975 ~ 1981 年宁夏西海固地区形变速率等值线的基本走向呈 NS 向, 但形变速率不大. 海原—静宁以西地壳向西舒缓倾斜, 形变形态几乎掩盖了南西华山—六盘山褶断带的继承性上升. 1985 ~ 1991 年, 中卫—海原一线发生沉降, 其西界可达水泉以西, 零值线呈 NS 向. 西吉附近零值线呈近 EW 向. 总体上沉降区呈近 NS 向分布. 零值线为地壳升降差异活动的交界带, 也可能是断裂发育的地带, 如银川断陷东侧的黄河断裂为银川断陷与隆起区的分界.

地震活动与近 NS 向和近 EW 向或二者同时出现的地壳垂直形变带有着比较密切的关系. 1982 年 4 月海原 5.7 级地震就发生在 NS 向沉降区的边缘; 又如 1976 年 8 月四川松潘 7.2 级地震发生在上升区与下降区的过渡区, 即 EW 向与 NS 向形变等值线转折处^[19].

1.6 地貌和水系特征

沿东经 105°, 地貌上有一阶梯, 大致北起中卫香山, 经屈吴山南沟大顶, 过会宁、华家岭、通渭、武山, 往南至武都摩天岭. 沿此带通常东面地势较低, 西面地势较高, 比差可达 500 ~ 1 000 m. 此种地貌的出现可能与深部 NS 向构造有关.

海原地区的水系规模不大, 但是 一些河谷或干沟具有近 NS 向和近 EW 向分布的特点, 前者如圆河, 后者如稍沙河. 有些 NS 流向的河流受 EW 向构造活动的影响而发生近直角的拐折, 如李俊河、臭水河及其支流. 发源于西吉附近的葫芦河也大体呈 NS 流向. 梁中华等人^[11]通过对人工地震资料的分析指出, 在葫芦河附近存在一条断距达 3 km 的 NS 向断层.

1.7 地震活动

与 1920 年海原大震所处经度(东经 105.3°)大体相同的 $M_s \geq 7.0$ 地震有: 1709 年 10 月 14 日中卫 7.5 级地震、1352 年 4 月 18 日会宁 7.0 级地震和 143 年 10 月甘谷 7.0 级地震. 与海原大震所处纬度(北纬 36.6°)大致相近的中强地震有: 1934 年 9 月 23 日 5.0 级地震、1923 年 9 月 4 日 5.5 级地震、1638 年 1 月 5.5 级地震、1939 年 3 月 13 日靖远 5.0 级地震以及永登至西宁的中强地震等. 上述地震震中沿 NS 向和 EW 向的分布, 绝不是偶然的巧合.

表 1 列出了 1920 年海原 8.6 级地震发生后一年内青海东部和陇东地区发生的中强地震参数. 由表 1 可以看出, 除了 1921 年 4 月 12 日固原 $M_s 6.5$ 地震及 5 月 24 日景泰 $M_s 5.0$ 地震特殊外, 其余地震有的位于相同经度, 有的位于相同纬度.

表 1 1920 年 12 月 16 日~1921 年 12 月陇东地区地震参数

时间	震中位置		发震地点	震级(M_s)
	北纬	东经		
1920-12-16	36.6°	105.3°	宁夏海原	8.6
1920-12-17	36.8°	104.6°	甘肃靖远	5.0
1920-12-25	36.6°	105.2°	甘肃靖远	7.0
1920-12-28	37.1°	105.3°	宁夏海原北	$6\frac{1}{4}$
1920-01-07	37.0°	105.0°	甘肃靖远东北	6.0
1921-01-31	36.0°	106.0°	宁夏固原	$5\frac{1}{2}$
1921-02-15	34.7°	104.8°	甘肃武山	5.0
1921-02-23	35.5°	105.2°	甘肃通渭	5.5
1921-04-12	35.8°	106.2°	宁夏固原	6.5
1921-05-04	37.2°	104.2°	甘肃景泰	5.0
1921-09-01	36.6°	101.8°	青海西宁	4.5
1921-09-02	36.6°	101.8°	青海西宁	4.5

④ 巩守文.我国四大亚板块交接带上大地变形演化特征与地震大形势. 1988.

秦保燕等^[12]研究了南北地震带北段 1954~1983 年的中强地震活动,发现 1970 年至今南北地震带北段震源断层运动走向接近于 NS 向.这一情况在西海固地区表现比较明显.这些呈 NS 向分布的中强地震横切海原大震的极震区.

综上所述,海原大震的发生与地表断层无关,而是与深部近 NS 向和近 EW 向的构造有一定的关系,这二组构造的交汇处就是该次地震的震源区.

2 讨论

关于 EW 向构造与地震活动的关系,作者及郭万武均作过研究,并已发表过论文^[13],在此不再赘述.

近年来,许多学者指出中国大陆地区 NS 向构造广泛发育.有的 NS 向构造在地表有明显形迹,规模不大,但断续延伸长度很大,如沿东经 100° 分布的 NS 向构造,从中国云南经青海共和一直延伸到蒙古国的库苏泊.有的在地表没有显露形迹,有人称之为“正在形成中的构造”或“隐伏的活动构造”.大地电磁测深资料显示,在中国甘肃省天水地区地下 20 km 处存在一条 NS 向断裂.礼县、宕昌一带新生代玄武岩的分布不仅与 EW 向构造有关,同时还受 NS 向构造的控制.对玄武岩中的包体矿物成分进行同位素分析^[14]的结果表明,玄武岩浆来自于地下 90 余公里的深处.与礼县地区大体位于同一经度范围的蒙古国中部的 NS 向太梅尔断裂带,也广泛分布着新生代玄武岩,对岩石包体成分的分析表明,玄武岩浆来源地下 75 km 深处^[15],相当于软流层顶部的深度.此外,中国东部和西部的玉门和青海等地新生代岩浆岩的分布均与 NS 向构造有关.美国黄石公园新生代玄武岩分布呈 NS 方向,意大利的帕里火山有一条呈 NS 向延伸的裂隙带,其它例证不再一一列举.

同样,有些 EW 向构造也有新生代玄武岩和火山岩分布,如沿北纬 40° 附近的一些地区.典型的一条 EW 向构造东起中国渤海之滨,经中亚的斯皮脱克至地中海、里海之滨的土耳其伊斯坦布尔.

近年来,许多学者对新生代火山活动与地震活动的关系进行了讨论^[15,17],认为近代地震的孕育与新生代玄武岩火山作用之间有密切关系,即地震的发生与地球深部的物质活动密切相关.

一些学者认为,在地下深部可能存在一种自然核反应堆或另一种类型的能产生极大能量的物理作用从而引起极强大的内生爆破.这方面既有岩石学的证据,也有构造方面的证据.湖北东南部地区的一些与大的隐伏岩体相连的小岩体顶部分布有角砾岩,有学者认为这是内生爆破的产物并将其称为隐爆角砾岩^[18].位于欧洲最大环状构造内的沃罗提洛夫超深钻结果显示,在该地区 4 000 m 深度分布有岩石碎块和数 10 米大小的断块,前苏联学者认为这是内生爆破作用的结果^[19].在意大利的弗列格雷有破火山口分布,其边缘环形裂隙密集分布,此外,每天还有许多小地震发生^[20].1988 年 12 月 7 日发生 7.0 级地震的斯皮脱克地区有一个始新世火山活动形成的直径达 35 km 的环形破火山口状火山构造^[21].在宁夏地区卫星照片上清晰地显示出以圆河为中心,在山体的南北缘都分布有半环状的水系,这些水系构成完整的环状构造影像,即“圆河环状构造”^⑤.1920 年海原大地震震中恰好位于环状构造中心部分.无独有偶,1927 年古浪大地震震中也位于环形构造内^[22].环形构造的形成既与地球深部的物质活动有关,也与二组断裂构造的交汇有关,因此常与地震震中相伴.何正勤、曾融生等人^[23]认为中国

⑤ 宁夏地质局研究队《地质力学》编图组.宁夏地区构造体系图(1:500 000)及说明书.1980.

南北地震带北段地壳深部存在物质活动. 上地幔物质活动为海原 8.6 级地震提供了垂直力源, 从而震源机制解反映该次地震的断层活动以平推为主, 同时还兼有正断层性质^[12]. 这一点与地表见到的海原断裂的性质是不相一致的.

对于地震形变带沿海原断裂分布的原因, 作者初步认为, 可能是海原断层距震源的距离最短, 由震源发出的各种波到达断层的时间也最短, 因此接受的能量最大, 沿断层释放的能量也最大, 从而产生许多地震形变现象. 至于海原断层在地震时产生的左旋活动, 可以认为海原断层的产状特征构成了类似于人工定向爆破事先设置的条件. 当然, 这只是一种推测, 尚待深入研究.

NS 向和 EW 向构造的形成受地球自转速率变化的制约. 由于地球本身的分层导致各层之间的自转速率的差异, 因此在地球自转过程中可能产生层间的滑动, 另外也可能产生近 NS 向和近 EW 向的垂直层面或斜交层面的拉裂. 在被拉裂开的岩石圈底部, 局部压力突然降低, 软流层物质则侵入裂隙中, 尤其是在二组裂隙交汇处, 软流层物质易形成柱状体侵入. 压力的变化诱发了软流层物质的温度和体积的突变乃至发生相变, 从而在较封闭或闭锁的状况下产生爆破效应, 这样便发生了地震. 通过岩石圈喷发到地表的部分软流层物质形成了火山.

3 结语

NS 向构造和近 EW 向构造是延向地球深部的构造, 不仅在中国广泛发育, 而且在全球也相当广泛. 它们的形成和发育与地球自转和地球自身不均一的分层有关, 并制约了软流层物质的活动及其所引起的大地热流沿经、纬向的变化, 对地震的发生和分布起了控制作用. 由此认为, 地震的发生和分布不是地震区域内的孤立事件, 而是地球在宇宙中的运动及内部物质活动的表现. 这一点在地震预测中具有重要意义. 海原地震的发生与地表出露的海原断层无关, 而是与上述 NS 向和 EW 向构造有一定的关系. 沿断层分布的地震形变带是海原地震诱发的. 由地震诱发的断层活动和地面运动, 对于工程建设的防震抗震具有实用价值.

[参考文献]

- [1] 国家地震局兰州地震研究所, 宁夏回族自治区地震局. 一九二〇年海原大地震[M]. 北京: 地震出版社, 1980.
- [2] 国家地震局地质研究所, 宁夏回族自治区地震局. 海原活动断裂带[M]. 北京: 地震出版社, 1990.
- [3] 汤锡元, 郭忠铭. 陕甘宁盆地西缘逆冲推覆构造及油气勘探[M]. 西安: 西北大学出版社, 1992. 29—32.
- [4] 梁桂培, 李渭娟. 南北地震带北段深部构造特征[J]. 地震学报, 1990, 12(2): 176—185.
- [5] 梁桂培, 李渭娟. 南北地震带北段深部构造与均衡异常[A]. 见: 马宗晋主编. 大陆多震层研究[C]. 北京: 地震出版社, 1992. 183—190.
- [6] 李清河, 郭守年, 吕德徽. 鄂尔多斯西缘与西南缘深部结构与构造[M]. 北京: 地震出版社, 1999. 92.
- [7] 姜枚, 马开义. 中国及毗邻海区磁特征线图简要说明——中国磁特征线构造概述[M]. 北京: 地图出版社, 1984.
- [8] 张云琳, 安海静, 刘晓玲, 等. 我国西北部分地区地壳—上地幔电性横向变化特征与地震活动的关系[J]. 地震地质, 1988, 10(2): 65—73.
- [9] 张云琳, 郭守年, 司玉兰, 等. 鄂尔多斯块体西南缘的大地电磁测深[J]. 华北地震科学, 1988, 6(3): 32—45.
- [10] 应绍奋, 张祖胜, 耿士昌. 中国大陆垂直向现代地壳运动基本特征[J]. 中国地震, 1988, 4(4): 1—8.
- [11] 梁中华, 唐建民, 滕智猛, 等. 天水地震区浅层地壳速度构造[J]. 西北地震学报, 1991, 13(增刊): 16—21.
- [12] 秦保燕, 徐纪人, 翟文杰. 南北地震带北段现今地壳应力场[J]. 华北地震科学, 1986, 4(1): 1—15.
- [13] 向光中. 我国大陆东西向构造与地震活动的关系[J]. 西北地震学报, 1979, 1(2): 62—68.
- [14] 叶维坤, 路凤香. 甘肃礼县地区碱性超基性火山岩的特征及成因探讨[J]. 地质科技情报, 1991, 10(增刊): 45—54.
- [15] 克彼任斯卡斯 弗 弗. 蒙古新生代玄武岩类组合及与其有关的深部包体[A]. 见: 蒙古地质基本问题[C]. 北京: 地质出

版社, 1977. 106—115.

- [16] 刘武英. 火山与地震的共性特征及有关问题讨论[J]. 西北地震学报, 1998, 20(1): 21—27.
- [17] 邓晋福, 赵海岭. 中国东部新生代上地幔深部作用与地震[A]. 见: 马宗晋主编. 大陆多震层研究[C]. 北京: 地震出版社, 1992.
- [18] 章增风. 隐爆角砾岩的特征及其形成机制[J]. 地质科技情报, 1991, 10(4): 1—6.
- [19] 肖庆辉. 大陆岩石圈的结构与动力学[A]. 见: 当代地质科学前沿——我国今后值得重视的前沿研究领域[C]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1993. 7—16.
- [20] 孔令昌, 刘若新. 土壤气体中氦与地震和火山活动的关系[J]. 地震地质译丛, 1990, 12(6): 34—38.
- [21] ДЖЕБЕЛИЯН Р. Т. 斯皮塔克地震带的地质和地震地质特征[J]. 黄耀支译. 地震地质译丛, 1991, 13(4): 33—37.
- [22] 邹谨敞. 古浪地区地震构造遥感分析[J]. 环境遥感, 1988, 3(3): 36—41.
- [23] 何正勤, 曾融生, 陈国英. 南北地震带的瑞利波群速度与地壳结构[J]. 西北地震学报, 1990, 12(3): 19—22.

A DISCUSSION ON RELATIONSHIP BETWEEN THE 1920 HAIYUAN $M_{s8.6}$ EARTHQUAKE, NORTHWEST CHINA AND GEOLOGIC STRUCTURE

XIANG Guang-zhong

(Lanzhou Institute of Seismology, CSB, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Data of artificial earthquake sounding, interpretation of gravity, geology, aeromagnetic detection, telluric electromagnetic sounding, seismic activity and geochemistry are used to study relationship between the 1920 Haiyuan $M_{s8.6}$ earthquake and geologic structure. The result shows that the Haiyuan fault is an overlap fold-fault taking the shape of the shovel with depth less than 10 km, which bears no relation to occurrence of the 1920 Haiyuan earthquake because the focal depth of the earthquake is 15 ~ 20 km. The Haiyuan earthquake relates to both NS and EW structures extending to the top of the asthenosphere and the movement of the material of the asthenosphere. The ground deformation of all kinds along the Haiyuan fault are induced by the earthquake.

Key words: Ningxia; Haiyuan earthquake; Earthquake fault; Seismogenesis; NS structure; EW structure; Circle structure