

兰州地区现代应力场的构造解析

陈永明^{1,2}, 石玉成^{1,2}

(1. 中国地震局兰州地震研究所, 甘肃 兰州 730000;

2. 中国地震局地震预测研究所兰州科技创新基地, 甘肃 兰州 730000)

摘要:在对兰州地区兴隆山北缘断裂、白杨树沟断裂和西湾—雷庄断裂等的活动性研究的基础上, 根据断裂擦痕斜角资料, 结合区域其他构造应力场资料, 应用构造应力解析方法计算了兰州的构造应力场。研究表明: ①兰州地区区域构造应力场主压应力方向总体在 NE 到近 EW 向的范围内; ②现今构造应力场继承了更新世以来的构造应力场; ③深部和表层构造应力场基本一致; ④区域构造运动是以水平构造应力为主导的。

关键词:兰州地区; 应力场; 构造解析; 擦痕

中图分类号: P315.2; P553

文献标识码: A

文章编号: 1000-0844(2007)01-0084-04

Tectonic Analysis of Contemporary Stress Field in Lanzhou Region

CHEN Yong-ming^{1,2}, SHI Yu-cheng^{1,2}

(1. Lanzhou Institute of Seismology, CEA, Lanzhou 730000, China;

2. Lanzhou Base of Institute of Earthquake Prediction, CEA, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Based on the field work data of fault plane scratch on Northern Margion Fault of Xinglongshan, Baiyangshugou fault and Xiwan—Leizhuang fault, the tectonic stress field is obtained. With other data related to the contemporary tectonic stress field, the characteristics of tectonic stress field in Lanzhou region are summarized: ①The direction of the principal stress along the fault zone mainly varies with NNE—NEE. ②The contemporary tectonic stress field inherits the one in Late Pleistocene. ③The stress field on surface is concordant with that in depth. ④The contemporary regional stress field mainly is in a horizontal compression way.

Key words: Lanzhou region; Stress field; Tectonic analysis; Scratch

0 前言

兰州市是全国省会级城市中为数不多的几个地震烈度为Ⅷ度的城市之一。兰州除市区可能存在活动断裂外, 城市外围也存在多条线性影像较为明显的断裂构造, 活动断裂发育, 展布形态复杂。断裂的运动方式受构造应力场控制, 断裂不同时期的运动特征大致反映了当时的应力场方向。本文在对兰州地区兴隆山北缘断裂、白银白杨树沟断裂和西湾—北湾断裂等几条断裂活动性研究的基础上, 根据野外收集的断层运动有成生联系的构造形迹、构造现象, 结合区内震源机制资料和地壳形变资料, 研究

和分析兰州地区现代应力场特征。

1 断裂带现代应力场的构造解析研究

断层运动是地壳应力直接作用的产物, 它包含了断层活动的构造应力特征信息。地质研究表明^[1] 断层面总是出现在剪应力面上, 不同断层是在不同应力状态下形成的: 形成正断层的应力状态为最大主应力(σ_1) 沿垂直向, 最小主应力(σ_3) 和中间主应力(σ_2) 在水平方向, 且中间主应力(σ_2) 与断层走向一致; 形成逆断层的应力状态为 σ_3 沿垂直向, σ_1 和 σ_2

收稿日期: 2006-05-12

基金项目: 兰州市活断层探测与地震危险性评价; 中国地震局兰州地震研究所论著编号: LC20070017

作者简介: 陈永明(1965—), 男(汉族), 甘肃泾川人, 副研究员, 主要从事地震地质、工程地震和地震灾害研究。

在水平方向,且 σ_2 与断层走向一致;形成走滑断层的应力状态为 σ_2 沿垂向, σ_3 和 σ_1 在水平方向,且 σ_2 与断层走向一致,断层面走向和滑动方向都垂直于 σ_2 ,且与 σ_3 和 σ_1 斜交。因此根据断层活动方式就可以粗略的估计局部应力场的方向。

可根据断裂运动所产生的构造形迹和构造变形反演断裂运动时的受力状况,包括褶曲、片理、节理、次生断层、擦痕、位移等。不同时期形成的构造形迹反映了当时断裂的受力状况。根据构造形迹和构造变形反演构造应力场的方法很多,如滑动方向拟合法^[1],赤平极射投影作图处理法^[3],节理方向玫瑰图、密度图法等。本文主要根据在兰州地区断裂上取得的23组断裂擦痕及断层位错数据,对断裂擦痕斜角^[3],应用赤平极射投影作图处理,求出各测点应力

状态(σ_1 、 σ_2 、 σ_3)。下面我们分断裂给予分析和说明。

(1) 白杨树沟断裂

断层北起皋兰县大横路乡东,向东南经白杨树沟村、狄家台、上西沟、青城西,至什川乡南圈滩,走向由 $N60^\circ W$ 逐渐转为 $N25^\circ E$,总体上呈向东突出的弧形,延伸长度约90 km。断层主要表现左旋逆冲活动特点,依据断层几何形态及活动性可将断裂分为大横路—白杨树沟断层段(北段)、白杨树沟—上西沟断层段(中段)和上西沟—圈滩断层段(南段)(图1)。在中段,断裂割切了中晚更新世冲洪积物,全新世以来未见断层明显活动的地质证据;断层南、北两段未见晚更新世活动的地质证据。

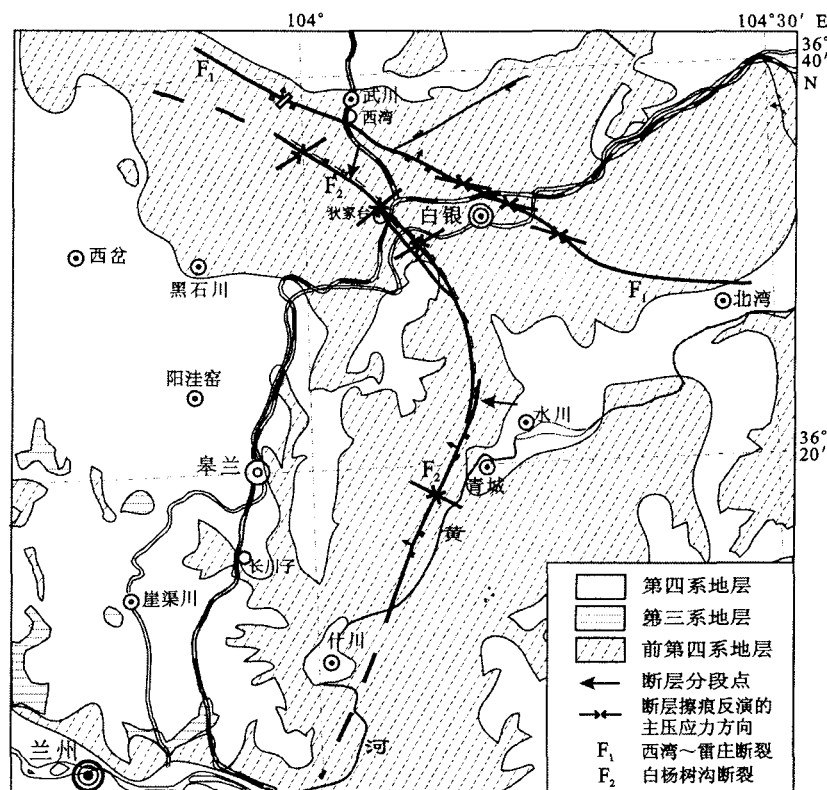


图1 白银地区断层及构造应力场主压应力方向分布图

Fig. 1 Distribution of faults and principal stress direction in Baiyin region.

沿断裂共测得4组断层擦痕(表1)。其中北段只有1组数据。调查资料表明该断裂段为早、中更新世活动断裂,因此显示的构造应力场应是早、中更新世的。断层中段共有3组数据。其中东侧断裂2组,西侧断裂上1组。调查资料表明该段东侧断裂为晚更新世活动断裂,断裂构造应力场是晚更新世的;该段西侧断裂为早、中更新世活动断裂,因此断裂构造应力场是早、中更新世的。断层南段也只有

1组数据,是早中更新世构造应力场。

(2) 西湾—雷庄断裂

该断裂西起黄哈喇东侧的石沟,向东经青石岘北、西湾、白银北到北湾镇北侧雷祖山南麓,终于黄河边雷庄附近,总体走向 $N60^\circ \sim 70^\circ W$,全长约70 km(图1)。沿断裂共测得3组断层擦痕(表1)。调查资料表明该断裂为一早中更新世活动断裂。因此所求断裂构造应力场应该是早中更新世的。

(3) 兴隆山北缘断裂

该断裂东起榆中县东南的高崖乡附近,向西经小康营南侧的周家庄、徐家峡、峡口、麻家寺西南、水岔沟、直沟门至西果园南的青岗岔(图 2)。沿断裂

共测得 2 组断层擦痕(表 1)。调查资料表明该断裂为一晚更新世早期活动断裂。因此所求断裂构造应力场应该是晚更新世早期的。

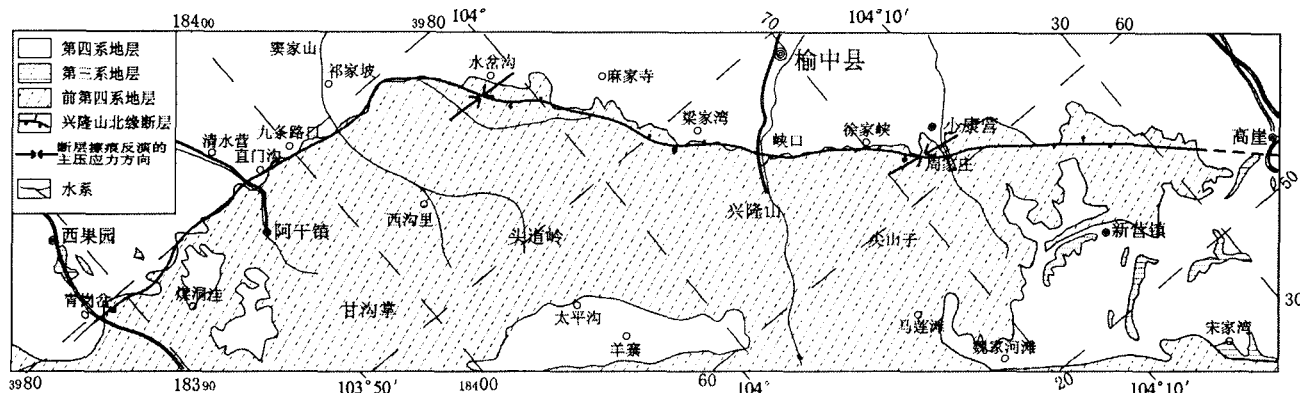


图 2 兴隆山北缘断裂及构造应力场主压应力方向分布图

Fig. 2 Distribution of Northern margin Fault of Xinglongshan and principal stress directions.

表 1 断面擦痕反演的构造应力场主压应力方向

序号	断裂名称	地点	断裂产状	断裂性质	擦痕		P 轴		T 轴		N 轴	
					侧向	斜角	方位	仰角	方位	仰角	方位	仰角
1	白杨树沟断裂	秀沙洞脑	220°∠70°	逆冲	NW	84°	238°	32°	145°	17°	109°	58°
2		狄家台	230°∠62°	左旋兼逆冲	NW	56°	231°	58°	148°	9°	59°	17°
3		下孤山东	225°∠50°	左旋兼逆冲	NW	52°	239°	68°	136°	4°	45°	20°
4		下孤山西	223°∠65°	逆冲	NW	81°	236°	23°	128°	62°	294°	37°
5		小弯沟	306°∠70°	逆冲	NE	73°	117°	62°	313°	27°	218°	6°
6	西湾—雷庄断裂	灰土涝池	33°∠70°	左旋兼逆冲	NW	13°	106°	22°	13°	4°	272°	67°
7		锥家滩北	42°∠57°	左旋兼逆冲	NW	23°	284°	6°	189°	36°	21°	53°
8		燕子沟台	42°∠58°	左旋兼逆冲	NW	31°	102°	32°	208°	22°	337°	49°
9	兴隆山北缘断裂	杜家沟 *	270°∠78°	逆冲	S	85°	280°	54°	80°	32°	175°	5°
10		水岔沟	50°∠65°	左旋兼逆冲	NW	67°	274°	22°	208°	63°	106°	13°
11	马街山北缘断裂 **	骆驼峁沟	30°∠70°	左旋正断层	NW	11°	252°	10°	288°	36°	121°	52°

* 为次级断裂上的擦痕; ** 根据文献[4]水平和垂直位移资料确定。

2 其他资料反映的构造应力场

2.1 地壳形变场反映的构造应力场

地形变是现代地壳运动的表现,其最大主应变轴的趋势方向即可代表一个地区区域主压应力方向^[5]。自上世纪 70 年代以来在兰州及其附近地区的先后布设了多处基线、水准及三角网测量标志,经多次定期复测资料表明:在兰州附近 4 个测点上地壳均有不同程度的缩短,代表区域最大主压应力的测点基线最大缩短方向分别为 N87°E、N61°E、N30°E 和 N27°E(表 2)。反映了区内主压应力作用的方向为 NNE~NNW,而且由西向东压应力方向有向西偏转的特点。

2.2 震源机制解反映的构造应力场

震源机制反映了地震时震源断层面运动的特

征,强震震源机制揭示的主压应力轴方向能反映区域应力场的基本特征,在主压应力均一和稳定的地区,P 轴优势方向可以表示一定范围区域构造应力场的基本特征。表 3 列出了震区及邻近地区部分中强震和小震群的震源机制解资料,从中可以看出本区主压应力轴方向变化较大,但以 NE~EW 向为主。P 轴仰角多集中在 0°~30°之间,反映了工作区地壳以水平运动为主,震源类型多为走滑兼挤压性质。

表 2 兰州地区三角网复测计算的最大主应变方向

序号	测点位置	施测年限	最大主应变方向(平均)	资料来源
1	永靖	1971-1974 年	N87°E	文献[6]
2	民和	1971-1975 年	N61°E	文献[6]
3	靖远	1971-1976 年	N27°W	文献[6]
4	干盐池	1971-1977 年	N30°E	文献[6]

表 3 兰州地区地震震源机制解^[7,9]

序号	发震时间	地点	震级/M	节面 A			节面 B			P 轴		T 轴		N 轴	
				走向	倾向	倾角	走向	倾向	倾角	方位	仰角	方位	仰角	方位	仰角
1	1995-07-22	永登	5.8	23°	NW	46°	111°	SW	87°	345°	27°	238°	32°	109°	58°
2	1964-05-31	和政	4.9		239°	90°		329°	60°	100°	21°	198°	20°	328°	60°
3	1967-10-16	靖远	4.8	307°	NE	73°	235°	SE	45°	188°	18°	77°	45°	294°	40°
4	1973-07-09	景泰	3.0	14°	SE	70°	117°	SW	57°	248°	8°	152°	39°	348°	51°
5	1974-01-26	陇西	4.0	156°	SW	70°	53°	SE	60°	103°	5°	197°	37°	5°	52°
6	1974-06-24	临潭	3.5	332°	SW	60°	50°	SE	70°	284°	6°	189°	36°	21°	53°
7	1975-11-27	靖远	3.2	154°	NE	84°	69°	SE	50°	102°	32°	208°	22°	337°	49°
8	1976-07-06	靖远	3.0	303°	NE	66°	43°	SE	70°	85°	34°	353°	2°	158°	58°
9	1976-07-06	海原	3.8	106°	NE	8°	106°	SW	82°	199°	52°	15°	37°	106°	0°
10	1977-06-04	会宁	3.6	134°	SW	42°	4°	SE	60°	252°	10°	144°	62°	348°	26°
11	1980-02-22	通渭	3.5	139°	NE	70°	54°	SE	78°	6°	4°	98°	24°	265°	66°
12	1981-01-24	通渭	3.7	53°	NW	86°	146°	NE	58°	103°	19°	4°	23°	226°	58°
13	1982-11-07	景泰西	3.8	26°	NW	30°	133°	NE	80°	245°	29°	14°	48°	138°	28°
14	1983-03-02	通渭南	3.9	67°	NW	86°	346°	NE	22°	358°	44°	136°	36°	245°	22°
15	1983-08-25	通渭西	3.5	14°	NW	64°	294°	NE	70°	243°	4°	337°	34°	146°	56°
16	1984-12-07	天祝南	4.6	16°	SE	80°	108°	SW	80°	61°	1°	153°	15°	336°	76°
17	1983-08-25	通渭西	3.5	14°	NW	64°	294°	NE	70°	243°	4°	337°	34°	146°	56°

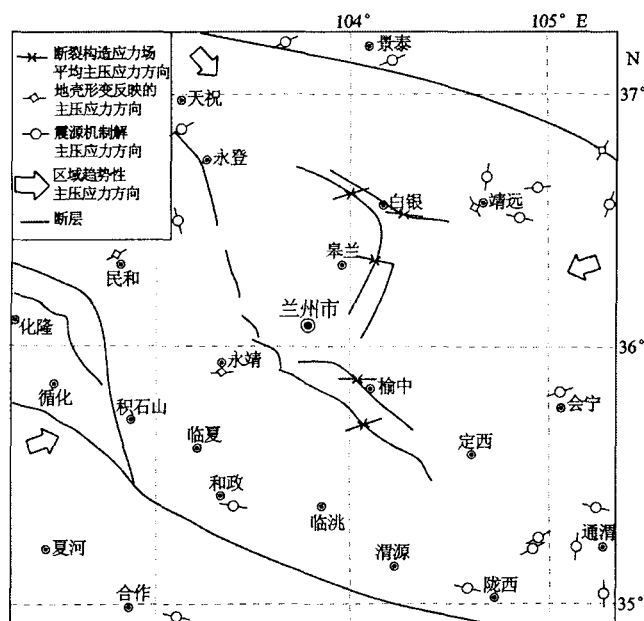


图 3 兰州地区主要活动断裂及构造应力场主压应力方向

Fig. 3 Major active faults and the principal stress directions in Lanzhou region.

3 区域构造应力场的基本特征

从上述资料可以看出,区域构造应力场有如下特征:

(1) 区域构造应力场主压应力方向总体围限在北东到近东西向的范围内。而且在不同地区主压应力方向呈规律性变化:在北部及中部地区主压应力

方向以北东为主;南部地区多为北东东和近东西向。

(2) 在时间序列上,现今构造应力场继承了晚更新世晚期以来的构造应力场。由构造形变和构造形迹所反演的断裂构造应力场是早、中更新世到晚更新世的构造应力场,而由震源机制解和地壳形变资料所求应力场是现今应力场。两者具有明显的一致性。

(3) 深部和表层构造应力场一致。震源应力场反映地壳一定深度(10~30 km)的受力状况,地壳形变及构造形迹所反演的是地表浅部的受力状况。据上述资料,两者具有一致性。

(4) 兰州地区断裂构造应力场主压应力俯角变化范围较大(6°~68°),而兰州区域内震源应力场主压应力仰角大多数都很小,约为几度到 20°(表 1、2、3)。这说明兰州地区构造应力场比较复杂,但区域内构造运动是以水平构造应力为主导的。

根据以上断裂带构造应力场的解析研究及区域现代构造应力场基本特征可以看出,兰州及周边区域现代构造应力场主压应力方向总体为北东~近东西方向。这说明青藏高原向北东方向的挤压,在西北部受到阿拉善地块的阻挡和来自东北部鄂尔多斯地块的阻挡是该区第四纪以来构造形变的主要动力来源。

(下转 93 页)

- sity, 1989, 64-71.
- [10] Zhang Zhenzhong, Wang Lanmin. Geological disaster in loess areas during the 1920 Haiyuan Earthquake, China[J]. *Geo-Journal*, 1995, 36(2/3): 269-274.
- [11] 张振中, 孙崇绍, 段汝文, 等. 黄土地震灾害预测[M]. 北京: 地震出版社, 1999.
- [12] Chen Bingwu, Zhang Jianshe. Problems of earthquake engineering geology of loess sites and their estimating methods [A]// *Aspects of Loess Research*[C]. Beijing: China Ocean Press, 1987. 403-409.
- [13] Ruan Aiguo. A study on attenuation law of seismic ground motion in the loess region of Northwest China[J]. *Earthquake Research in China*, 1992, 6(4): 18-23.
- [14] G H Johnston. *Permafrost Engineering Design and Construction*[M]. John Wiley & Sons, 1981.
- [15] Zhu Yuanlin, Roman L T. Creep behaviour and predication of long term strength of frozen soil under dynamic load[A]// 7th Int. Symp. on Ground Freezing[C]. Netherland, A A Balkema, Rotterdam, 1994: 97-102.
- [16] Shen Zhongyan, Zhang Jiayi. Dynamic strength and its failure criterion of frozen silt[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 1997, 19(2): 141-148.
- [17] Zhu Yuanlin, He Ping, Zhang Jiayi. Effect of confining pressure on creep behaviour of frozen silt under dynamic load. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 1995, 17(5): 20-25.
- [18] 王兰民, 张冬丽, 吴志坚, 等. 地温对冻土动力特性及其场地地震动参数的影响[J]. *中国地震*, 2003, 19(3): 195-205.
- [19] 吴志坚, 王兰民, 马巍, 等. 地震荷载作用下冻土的动力学参数试验研究[J]. *西北地震学报*, 2003, 25(3): 210-214.
- [20] 吴志坚, 马巍, 王兰民, 等. 地震荷载作用下温度和围压对冻土强度影响的试验研究[J]. *冰川冻土*, 2003, 25(6): 648-652.

(上接 87 页)

[参考文献]

- [1] E M Anderson. The dynamics of faulting and dyke formation (2nd. Ed.) [M]. London: [s. n.], 1951.
- [2] 谢富仁. 利用断层滑动资料确定构造应力主方向的方法[A]// *活动断裂研究(3)*[C]. 北京: 地震出版社, 1994.
- [3] 贾云鸿, 金瑶全, 滕瑞增, 等. 西秦岭北缘断裂带构造应力场研究[A]// *活动断裂研究(2)*[C]. 北京: 地震出版社, 1992.
- [4] 袁道阳, 刘百饒, 才树华, 等. 兰州马衔山北缘断裂带的新活动特征[J]. *地震地质*, 2002, 24(3): 316-323.
- [5] 李细光, 曾佐勋, 刘立林. 武汉—信阳地区现金构造应力场的初步研究[J]. *西北地震学报*, 2004, 26(1): 66-71.
- [6] 李玉龙. 陕甘宁青四省(区)新构造与现代构造应力场及动力来源的初步分析[J]. *西北地震学报*, 1979, 1(4): 1-10.
- [7] 温增平. 1991年至1994年甘肃地区发生的部分地震震源机制解[J]. *西北地震学报*, 1994, 16(3): 93-94.
- [8] 何绍勋. 构造地质学中的赤平极射投影[M]. 北京: 地质出版社, 1979.
- [9] 张诚, 曹新玲, 曲克信, 等. 中国震源机制[M]. 北京: 学术书刊出版社, 1990.