

# 甘肃及邻近地区的地壳应力场

姚文珣 汪 进

(国家地震局兰州地震研究所)

## 摘 要

本文利用40个地震震源机制解和3个小震综合解研究了甘肃及邻近地区的地壳应力场。结果表明,由甘肃西部到东南部,主压应力方向由北 $40^{\circ}$ 东逐渐变为北 $90^{\circ}$ 东, P轴仰角大多小于 $30^{\circ}$ ,其水平方向垂直于青藏高原东北边缘。反映了该区的力源主要来自于印度板块与欧亚板块的碰撞。一些地区局部应力场的变化对研究断层活动有重要意义。

## 一、前 言

甘肃地区与青藏高原的北缘及东北缘毗邻,它的东部有南北地震带通过,是我国大陆内部地震活动强烈的地区之一。地震的发生是地壳应力场作用的结果,因此研究地壳应力场对于断层稳定性和地震危险性的研究有一定的意义。本文利用甘肃及邻近地区一些地震的震源机制资料,研究了该区的地壳应力场。

## 二、资料情况

1970年以来,甘肃及邻近地区陆续建立并完善了区域地震台网,使我们不仅能较精确地确定中等地震的震源机制解,而且能够求小震综合解。本文收集和处理了从1927年至1988年在该区发生的40次中、强地震的震源机制解和3个小震综合解,用格点尝试法<sup>[1]</sup>计算了景泰—海原地区的小震综合解及肃南5.7级地震、临泽4.7级地震和共和兴海6.9级地震的震源机制解(图1)。此外,我们还使用了青海北部、宁夏西海固地区、四川松潘、南坪地区的震源机制资料。选用资料时,对同一个地震尽量选用矛盾比较小,且与附近地区其它地震的震源机制解比较一致的结果。所有资料列于表1中。

## 三、甘肃及邻近地区应力场分区及断层活动

将表1中42个地震的震源机制解主应力轴水平投影绘于图2中。由图2可以看到,主应力轴方向在甘肃东部和西部地区并不一致。下面分区对应力场分布及断层错动方向进行一些讨论。

表1 甘肃及邻近地区地震震源机制解

序号	地震时间	地震位	震级	节面A		节面B		P		T		N		文献
		φ	λ	走向	倾向	走向	倾向	方位	仰角	方位	仰角	方位	仰角	
1	1952年2月6日	39°54' 95°12'	5.3	79°	NW 75°	179°	E 60°	39°	30°	132°	10°	235°	55°	2
2	1952年1月23日	39°48' 95°42'	5.5	13°	SE 69°	99°	NE 80°	54°	52°	147°	58°	255°	56°	2
3	1951年12月27日	39°36' 95°42'	6	65°	NW 75°	159°	NE 75°	22°	22°	112°	1°	206°	68°	2
4	1941年4月19日	39°06' 97°00'	6	3°	W 73°	87°	S 70°	235°	52°	134°	51°	40°	56°	2
5	1962年8月1日	39°12' 98°36'	5.4	33°	SE 68°	121°	NE 88°	75°	18°	169°	13°	296°	67°	2
6	1980年4月18日	38°00' 98°51'	5.2	4°	W 80°	96°	N 75°	50°	4°	319°	517°	154°	72°	*
7	1988年11月22日	38°36' 99°24'	5.7	19°	NW 36°	101°	SW 85°	218°	39°	346°	31°	96°	23°	本文
8	1988年12月26日	39°08' 100°02'	4.7	133°	SW 81°	247°	NW 22°	246°	50°	27°	33°	130°	20°	本文
9	1987年9月12日	38°45' 100°12'	4.5	40°	310 70°	106°	193 41°	155°	16°	267°	52°	56°	34°	4
10	1954年2月11日	39°00' 101°18'	7.3	5°	W 61°	108°	NE 68°	235°	4°	328°	36°	139°	53°	2
11	1978年8月16日	38°38' 101°00'	4.7	97°	N 55°	130°	SW 40°	204°	9°	320°	70°	110°	17°	*
12	1984年2月17日	37°17' 100°40'	5.2	11°	SE 44°	65°	NW 48°	50°	80°	144°	1°	235°	10°	*
13	1986年8月26日	37°42' 101°34'	6.4	50°	SE 45°	170°	W 63°	212°	55°	106°	10°	9°	53°	5
14	1986年9月17日	37°43' 101°37'	5.7	65°	SE 42°	163°	SSW 83°	217°	38°	104°	526°	349°	31°	5
15	1984年1月6日	37°55' 102°11'	5.3	22°	NW 12°	322°	NE 85°	242°	37°	41°	50°	144°	10°	*
16	1979年12月20日	37°42' 101°56'	4.6	27°	NW 65°	109°	SW 75°	247°	526°	341°	58°	80°	560°	*
17	1927年5月23日	37°42' 102°12'	8	34°	NW 72°	303°	SW 84°	258°	13°	350°	9°	105°	70°	*
18	1984年12月7日	37°12' 102°38'	4.6	16°	SEE 80°	107°	SSW 80°	61°	1°	152°	515°	336°	76°	*
19	1968年12月22日	36°12' 101°54'	5.4	305°	NE 69°	333°	SW 23°	224°	26°	19°	64°	130°	9°	2
20	1954年7月31日	38°48' 104°12'	7	60°	NW 80°	150°	SW 85°	15°	4°	285°	10°	124°	80°	2
21	1984年11月13日	38°06' 106°12'	4.8	9°	SE 61°	289°	SW 64°	51°	1°	150°	25°	326°	51°	3
22	1962年12月18日	38°00' 106°12'	5.5	284°	NE 60°	320°	SW 35°	209°	19°	323°	66°	114°	17°	2
23	1971年6月28日	38°00' 106°00'	5.4	34°	NW 62°	277°	S 49°	156°	510°	253°	52°	58°	36°	2
24	1970年2月23日	37°14' 106°11'	4.2	10°	NW 80°	90°	S 50°	134°	19°	240°	36°	20°	52°	14
25	1973年9月28日	37°22' 106°12'	4.5	169°	SW 84°	78°	SE 76°	214°	14°	123°	6°	11°	42°	14
26	1986—1989年	景泰—海原区			291 82°		26 59°		75° 16°		331° 27°		190° 56°	本文
27	1967年10月6日	36°48' 105°06'	4.8	235°	SE 45°	307°	NW 73°	188°	17°	71°	45°	293°	540°	2
28	1982年4月14日	36°48' 105°33'	5.5	79°	SSE 64°	352°	SSW 84°	219°	20°	123°	13°	4°	63°	7
29	1973年5月16日	36°23' 106°33'	4.8	115°	NE 50°	29°	SE 86°	80°	31°	334°	24°	214°	75°	14
30	1970年12月8日	35°54' 105°36'	5.5	18°	NW 48°	284°	SW 87°	238°	24°	346°	34°	120°	45°	6

续表 1

序号	地震时间	地震位置	震级	节面A		节面B		P		T		N		文献
		地点		走向	倾向	走向	倾向	方位	仰角	方位	仰角	方位	仰角	
31	1980—1983年	通渭台		31°	SE 70°	119°	SW 70°	69°	1°	160°	30°	340°	61°	6
32	1975—1984年	静宁区		19°	NWW 80°	109°	NE 85°	73°	H	343°	H	139°	78°	11
33	1979年7月25日	20km 礼县	4.7	57°	147 85°	150°	237 55°	242°	4°	334°	11°	49°	47°	6
34	1987年10月25日	22km 礼县	5.0	20°	SEE 60°	149°	SW 43°	239°	20°	189°	28°	2°	28°	4
35	1987年1月8日	11km 迭部	5.9	16°	SE 80°	292°	SW 61°	267°	9°	161°	61°	358°	60°	8
36	1970年3月29日	舟曲	4.6	60°	SE 50°	113°	NE 50°	247°	13°	150°	28°	269°	31°	2
37	1960年11月9日	20km 漳腊	6.8	72°	NW 81°	344°	NE 78°	84°	59°	77°	2°	216°	74°	10
38	1973年8月11日	南坪	6.2	147°.5	NE 45°	175°	SWW 48°.5	118°.5	2°.5	28°	15°	162°	14°	9
39	1976年8月16日	15km 松潘	7.2	174°	W 58°	215°	SE 40°	71°.5	3°	335°.5	76°	8°	21°	9
40	1976年8月23日	22km 松潘	7.2	58°	90°	148°	NE 58°	101°.5	95°	21°.4	67°	238°	58°	9
41	1976年8月22日	10km 松潘	6.7	63°.5	NW 87°	332°	SW 64°	107°	22°	8°	22°	70°	63°	9
42	1974年9月23日	玛曲	5.8	80°	NW 90°	170°	80°	291°	20°	195°	16°.5	260°	80°	9
43	1990年4月2日	15km 共和	6.9					35°	7°	125°	7°			本文

\*徐纪人, 青海省及龙羊峡周围地区地壳应力场讨论, 龙羊峡地区地壳稳定性研究, 1986.

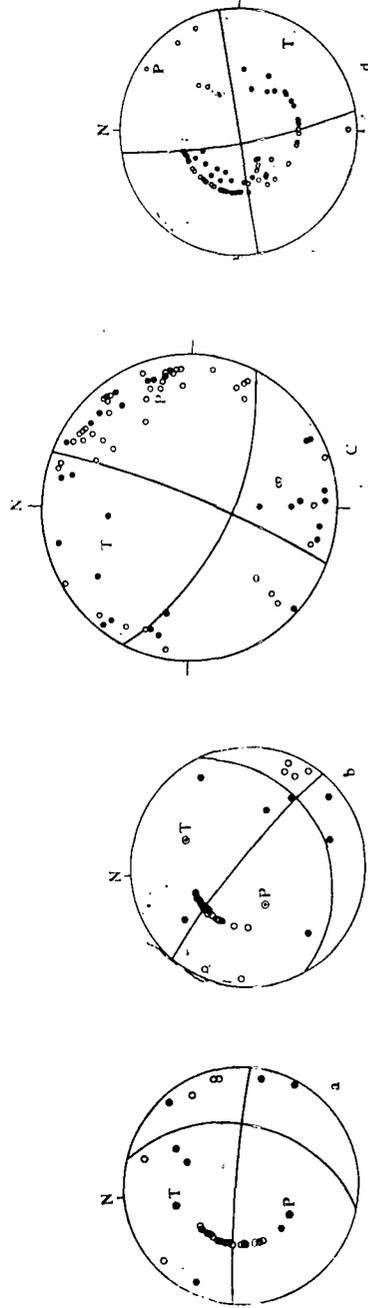


图 1 震源机制解

a. 1988年11月22日甘肃5.7级地震 b. 1988年12月26日临泽4.7级地震 c. 景泰—海原地区小震综合解 d. 1990年4月26日共和6.9级地震

Fig. 1 Source mechanism solutions

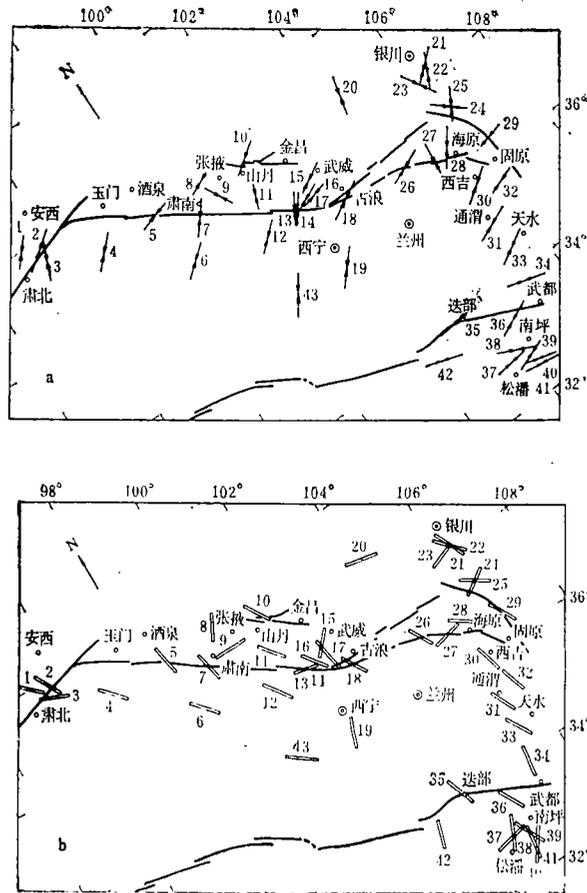


图 2 主压应力轴和主张应力轴水平投影

a. P轴      b. T轴

Fig. 2 Horizontal projection of principal compressive and extensional stress axes, a. P-axis      b. T-axis

1. 安西、肃北、玉门地区

根据 4 次地震 (表 1 中 1—4) 的震源机制解, 得到该区 P 轴平均方向为北 40° 东, 仰角小于 30°。可以认为该区应力场的主压应力方向为北 40° 东左右, 以水平挤压为主。该区分布的阿尔金山断裂带与主压应力方向交角约为 30°, 因此有利于该断裂带活动 (左旋)。

2. 酒泉、张掖、山丹地区

根据 8 次中强地震资料 (表 1 中 5~8, 10~12, 43) 求得该区 P 轴平均方向为北 50° 东仰角大多小于 30°。可以认为该区应力场的主压应力方向为北 50° 东左右, 以水平挤压为主。1987 年 9 月 12 日张掖 4.5 级地震的 P 轴方向与该区平均 P 轴方向相差较大。其原因可能是: (1) 局部构造的影响。由余震分布确定的张掖地震的发震断层为北东向 [4], 与该区北西西向主干断裂不一致。(2) 1986 年以来, 在河西中部地区发生的几次地震, 如 1986 年门源地震、1987 年张掖地震和 1988 年肃南地震的震源机制解的 P 轴方向与该区平均主压应力轴方向相比有较大偏转, 是否在河西中部地区存在 P 轴转向的可能, 是值得进一步研究的。

在张掖、山丹附近分布的横穿走廊的北东向断裂带, 虽然规模较小, 但其方向与区域应力场主压应力方向交角为 25° 左右, 因此易于错动 (右旋)。

3. 金昌、武威、古浪地区

根据7次中、强地震震源机制解(表1中13~19),得到该区P轴方向为北55°东,大部分地震P轴仰角小于30°,表明该区应力场主压应力方向为N55°东,以水平挤压为主。在门源、九条岭、刚察地区有些地震P轴仰角大于30°,表明这些地区可能存在垂直力源作用。

该区处于河西断裂带与海原—古浪断裂带的交汇部位。此外还分布有横跨走廊的北东向断裂带。北东向断裂带与该区主压应力方向交角为30°左右,因此易于错动(右旋)。1986年8月26日门源6.4级地震可能发生在北东向断裂带上。

4. 西海固、天水地区

根据5次中等地震震源机制解和3个小震综合解(表1中26~33),得到该区P轴平均方向为北58°东,P轴仰角全部小于30°。可以认为该区应力场主压应力方向为北58°东左右,以水平挤压为主。

5. 迭部、武都、松潘地区

该区的9次中强地震震源机制解(表1中34~42)的主压应力轴存在两个方向,在迭部、武都地区为北77°东,而在南坪、松潘地区为北109°东,P轴仰角大多小于30°。该区构造极为复杂,对应应力场分布影响较大。

四、讨论

图3给出了甘肃及邻区的主要构造和应力场分布以及断层可能的错动方向。表2给出了上述各区的应力场水平分量方向。

由表2可以看到,从甘肃西部到东南部,主压应力轴方向由北北东逐渐转变为东西方向,它们与青藏高原东北部弧形边缘基本垂直。主张应力轴则由南东方向转变为近南北方向

表2 甘肃及邻近地区应力场水平分量方向

地区	安西、肃北、玉门	酒泉、张掖、山丹	金昌、武威、古浪	西海固、天水	迭部、武都	松潘、南坪
P轴	40°	51°	55°	58°	77°	109°
T轴	132°	151°	149°	142°	166°	212°

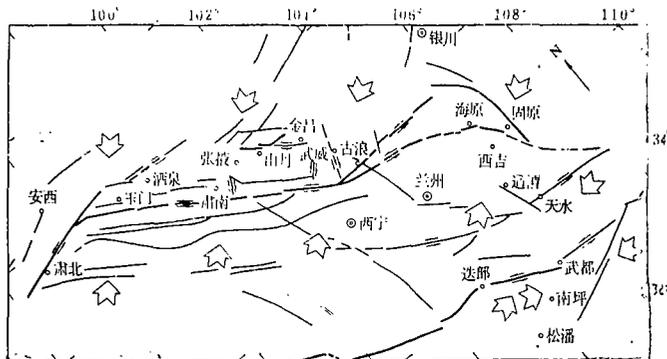


图3 主压应力水平方向分布及断层活动

Fig. 3 Distribution of horizontal direction of principal compressive stress and fault activity

向，与青藏高原弧形边缘基本平行。主应力轴这种有规律的变化可以认为是印度板块作用的结果。当印度板块挤压青藏块体时，青藏块体沿南北向被压缩，沿东西向伸长，在甘、青交界的弧形边缘地带就形成了上述应力场的分布。

上述事实表明，由于甘肃所处地理位置的特殊性，在研究甘肃及邻近地区地壳应力场时，除了要考虑大区域应力场之外，也要注意局部地区地壳应力场的变化。研究局部地区地壳应力场的变化对于我们判定地震危险区及地震危险性有重要意义。

(本文1989年5月15日收到)

### 参 考 文 献

- [1] 许忠淮、阎明、赵仲和，由多个小地震推断的华北地区构造应力场的方向，地震学报，Vol. 5, No. 3, 1983.
- [2] 国家地震局震源机制研究小组，中国地震震源机制的研究，第一集，1973.
- [3] 李孟奎，地震观测与研究，No. 1, 1986.
- [4] 姚立珣、田军，1987年张掖4.5级地震和礼县5.0级地震震源机制解，西北地震学报，Vol. 10, No. 1, 1988.
- [5] 徐纪人、姚立珣、汪进，1986年8月26日门源6.4级地震及其强余震的震源机制解，西北地震学报，Vol. 8, No. 4, 1986.
- [6] 秦保燕、徐纪人、翟文杰，南北地震带北段现今地壳应力场讨论，华北地震科学，Vol. 4, No. 1, 1986.
- [7] 秦保燕、姚立珣、徐纪人、李亚荣，西海固地区小震调制特征，西北地震学报，增刊，1983.
- [8] 汪进、刘江峰、田军，1987年1月8日迭部5.8级地震的震源机制解，西北地震学报，Vol. 9, No. 2, 1987.
- [9] 韩渭宾、夏大德、松潘、平武地震和川青块体运动，地震科学研究，第一辑，1980.
- [10] 阙荣举等，我国西南地区现代构造应力场与现代构造活动特征的探讨，地球物理学报，Vol. 20, No. 1, 1971.

## CRUSTAL STRESS FIELD IN AND AROUND GANSU REGION

Yao Lixun, Wang Jin

(*Earthquake Research Institute of Lanzhou, SSB, Gansu, China*)

### Abstract

Using 40 mechanism solutions of earthquake focus and 3 synthetic solutions of small earthquake, the crustal stress field in and around Gansu region is discussed. The directions of P-axes from the western area to the southeastern area changed from N40°E to N90°E step by step. The horizontal directions of P-axes are vertical to the northeast edge of Tibet Plateau, and the elevation angles of P-axes are less than 30°. It will be shown that the power source of this region is caused by the collision between India and Eurasia plate. The change of regional stress field is of great value for discussing the fault activity.