

甘肃地区构造环境剪应力场 对峰值加速度的影响

夏根宏 张树勋

(国家地震局兰州地震研究所, 兰州 730000)

摘要 利用松潘—平武、肃南、共和等 73 个地震 228 条强震加速度记录, 根据陈培善先生提出的理论计算公式^[1], 算出剪应力值并结合其发震构造环境研究了环境剪应力场对峰值加速度的影响。

关键词: 构造应力场 甘肃 峰值加速度

1 前言

近年来, 国内外的专家学者已意识到了环境剪应力场和震源深度对峰值速度及峰值加速度的影响, 并对其作了一些研究。

长期以来, 人们对地震动的研究仅考虑震级、震中距、场地条件等因素。但是, 往往有一些震例却不然, 如 1983 年 5 月, 在美国的爱达荷和科灵加发生了两次破坏性地震, 其深度大约都是 10 km, 爱达荷地震, 震级为 7.3, 造成了 2.5×10^6 美元损失, 而科灵加地震, 震级仅为 6.5 级, 却造成了 31×10^6 美元的损失。这一明显差异可能与震中区的人口密度和文化发展程度有关, 但仪器观测结果显示, 科灵加地震引起的近源强地面运动大大超过爱达荷地震。这说明在震源深度相同的情况下, 小震级的地震产生的近源强地面运动完全可能大于大震级地震产生的结果。美国 McGarr 和中国的陈培善教授认为导致这种反常现象的主要因素是构造环境。爱达荷地震处于张性构造区域, 而科灵加地震则处于压性构造区域。McGarr 和陈培善教授还比较了金矿中的极微震和中等地震(3~5 级)以及大地震(6~7 级)环境应力的差别。他们认为深度很浅的极微震不能集聚较高的环境应力, 而深度较大的地震则可以。

本文利用甘肃、青海等地区的地面强震观测资料, 综合考虑构造背景、环境应力及震源深度对地面运动的影响以证实上述观点的可靠性和环境剪应力场对峰值加速度的影响。

2 理论关系式

陈培善等根据位错模式, 从理论上导出了震源处(扣除传播路径的影响)的位移谱、速度谱及加速度谱的数学表达式^[1~2], 进而又得到震源处的峰值位移 d_p 、峰值速度 v_p 及峰值加速度 a_p 与环境剪应力 τ_0 和地震矩 M_0 的关系式:

$$d_p = k_d \cdot \tau_0^{2/3} M_0^{2/3} \quad (1)$$

$$v_p = k_v \cdot \tau_0^{4/3} \cdot M_0^{1/3} \quad (2)$$

$$a_p = k_a \cdot \tau_0^2 \quad (3)$$

式中的 k_d, k_v, k_a 为常数。

由上述3个关系式不难看出,震源处的峰值位移 d_p 以相同的程度依赖于震源尺度地震矩 M_0 和环境剪应力 τ_0 ;震源处的峰值速度 v_p 对环境剪应力 τ_0 的依赖程度(4/3次方)要强于对震源尺度地震矩 M_0 的依赖程度(1/3次方);令人惊奇的是,震源处的峰值加速度 a 与震源尺度地震矩 M_0 无关,仅依赖于环境剪应力 τ_0 ,只要 τ_0 相同, a_p 必然相同,换句话说,在相同的环境应力条件下,大小不同的地震将产生同样大小的峰值加速度。

3 观测资料

甘肃是地震多发区,自1970年开展强地面运动观测工作以来,已取得了一批有价值的地面运动加速度记录。本文选取了松潘(1976年)、肃南(1988年)和共和(1990年)3个地震系列及其它一些零星地震的记录,共有73个地震,228条强震加速度记录。这些地震的震级范围为 $2.0 \leq M_s \leq 7.2$,震中距(R)为 $1.8 \sim 165$ km,绝大多数在小于20 km的近场范围内。

在选取资料时,为准确反映地面运动的真实性,本文只选用在地面上获取的加速度资料。台址的地基为基岩或土层。

为了研究震源的性质而排除地震波在传播过程中的复杂性,尽量选取近源观测资料。在震源距很小的情况下,可以忽略速度 v 或加速度 a 的非弹性吸收和散射。对于地震波随距离的衰减只需考虑几何扩散,简单地把速度或加速度值乘以距离 r 就可以补偿地震波随距离的衰减。选用的地震数据列于表1。

4 由加速度值计算环境剪应力值

令所有地震事件的平均应力为5MPa,定出(3)式中的常数 k_a ,得到方程式:

$$\lg a_p = 2 \lg \tau_0 - (0.195 \pm 0.486) \quad (4)$$

由方程(4)即可求出与各地震对应的环境剪应力值。

$$\text{又} \quad a_p = a \cdot r \cdot d$$

式中 a —观测点的地动加速度 (m/s^2),

r —震源距(m),

d —密度(kg/m^3),一般取 $2.7 \times 10 \text{kg/m}^3$ 。

用甘肃、青海地区的资料计算得到的 τ_0 值也列于表1。

陈培善等的研究表明,大地震(6~7级)的 τ_0 值为10MPa左右,中小地震(3~5级)的 τ_0 值约在4~8MPa之间,极微震(1级左右)的 τ_0 值约在2~4MPa之间。假定5MPa的平均应力值为相对尺度,如果由此得到的 k_a 不太理想,必然会直接影响剪应力值的计算结果。但由于各地震的剪应力值的相对大小并未改变,也就是说它们的相对比值是一常数,所以这对结果并无影响。

5 分析与讨论

(1)根据表(1)的数据作 $\tau_0 - M_w$ 关系图(图1)。从图中看出,甘肃等地区的观测资料主要集中在 $2.5 \leq M_w \leq 6$ 的震级范围内,中小地震(2.5~5.0级)的应力值多数在4~15MPa之间,大震(6级以上)的应力值在20~30MPa之间。甘肃等地区 τ_0 绝对值比陈培善等研究的

表1 本文使用的地震事件目录及其环境剪应力值

序号	发震时间	北纬	东经	$H(\text{km})$	M_S	M_L	M_w	$\lg\tau_0$	$\tau_0(\text{MPa})$	断层类型
1	1976-08-16-22:06	32°42'	104°12'	15	7.2		7.2	1.44	27.5	T
2	1976-08-16-22:56	32°55'	104°07'			4.2	4.0	1.40	25.1	T
3	1976-08-16-23:00	32°57'	104°12'			4.6	4.4	1.21	16.4	T
4	1976-08-16-23:26	32°42'	104°18'		4.9		5.4	0.88	7.7	T
5	1976-08-18-11:26	32°48'	104°06'	9	4.2		4.9	0.95	8.9	T
6	1976-08-19-20:49	32°51'	104°18'	10	4.7		5.3	1.15	14.1	T
7	1976-08-22-05:49	32°42'	104°12'	10	6.7		6.7	1.37	23.2	S
8	1976-08-22-21:19	32°44'	104°11'	10		4.9	4.7	1.18	15.1	S
9	1976-08-23-11:30	32°30'	104°12'	19	7.2		7.2	1.38	24.3	T
10	1976-09-01-09:06	32°30'	104°06'	22	5.1		5.5	1.26	18.2	T
11	1976-09-02-16:28	32°00'	104°12'		4.7		5.3	1.05	11.2	T
12	1979-05-22-05:32	32°38'	104°09'	6		4.4	4.2	1.51	32.4	T
13	1983-02-26-03:36	32°58'	104°55'	13		3.4	3.2	0.88	7.5	T
14	1985-09-12-04:45	39°23'	75°24'	19	6.7		6.7	1.23	17.0	T
15	1986-09-17-04:11	37°43'	101°37'	21	5.7		5.9	1.42	26.6	N
16	1987-09-12-08:40	38°45'	100°12'	9	4.5		5.1	0.92	8.4	T
17	1987-10-25-03:12	34°03'	105°10'	8	5.1		5.5	0.75	5.7	S-T
18	1988-10-01-07:14	38°37'	99°29'	5		4.7	4.5	1.01	10.1	S
19	1988-10-02-07:32	38°35'	99°28'	9		4.2	4.0	1.23	17.0	S
20	1988-11-22-01:42	38°35'	99°32'	20	5.7		5.9	1.19	15.5	S-T
21	1988-11-22-02:22	38°31'	99°29'	21		3.9	3.7	1.30	20.0	T
22	1988-12-04-10:58	38°34'	99°31'	20	5.1		5.5	0.98	9.5	T
23	1988-12-05-22:51	38°37'	39°31'	16		3.3	3.2	1.07	11.7	T
24	1988-12-19-20:13	38°35'	99°32'	17		3.6	3.4	1.42	26.3	S-T
25	1988-12-26-15:36	39°06'	100°02'	16	5.0		5.5	1.02	10.4	T
26	1990-04-27-13:58	36°05'	100°10'	10		3.8	3.6	0.91	8.2	T
27	1990-04-27-14:01	36°03'	100°10'	10		3.2	3.1	0.70	5.0	T
28	1990-04-27-14:27	36°04'	100°14'	10		3.1	3.0	0.97	9.2	T
29	1990-04-27-15:32	36°02'	100°18'	10		4.2	3.9	1.53	32.7	T
30	1990-04-27-17:12	36°04'	100°16'	10		3.1	3.0	0.98	9.4	T
31	1990-04-27-23:17	36°06'	100°11'	10		3.8	3.6	1.42	26.6	T
32	1990-04-28-00:35	35°57'	100°14'	10		2.4	2.6	1.62	41.7	T
33	1990-04-28-05:05	36°04'	100°13'	10		3.7	3.5	1.05	11.1	T
34	1990-04-28-08:22	36°06'	100°05'	10		3.4	3.2	0.48	3.1	T
35	1990-04-28-11:56	36°05'	100°09'	10		4.3	4.1	0.70	5.0	T
36	1990-04-28-12:02	36°11'	100°07'	10		3.3	3.2	1.15	14.3	T
37	1990-04-28-16:16	36°08'	100°10'	10		4.1	3.9	0.88	7.5	T

表1(续)

序号	发震时间	北纬	东经	$H(\text{km})$	M_s	M_L	M_w	$\lg\tau_0$	$\tau_0(\text{MPa})$	断层类型
38	1990-04-29-06:10	36°02'	100°13'	10		4.2	4.0	1.00	10.0	T
39	1990-04-29-10:36	36°09'	100°08'	10		3.3	3.2	0.53	3.4	T
40	1990-04-29-11:33	36°02'	100°08'	10		3.4	3.2	0.60	4.0	T
41	1990-04-29-16:44	36°33'	100°23'			3.8	3.6	0.91	8.1	T
42	1990-04-29-16:53	36°02'	100°10'			4.0	3.8	0.90	7.9	T
43	1990-04-29-18:08	36°05'	100°05'			3.4	3.2	0.11	1.3	T
44	1990-04-29-18:43	36°03'	100°12'			3.3	3.2	1.06	11.5	T
45	1990-04-29-22:01	36°02'	100°14'			2.9	2.9	1.00	9.9	T
46	1990-04-30-00:53	36°01'	100°15'			2.9	2.9	1.21	16.4	T
47	1990-04-30-01:49	36°05'	100°06'			2.8	2.8	0.27	1.9	T
48	1990-04-30-01:51	36°02'	100°10'			3.2	3.1	0.68	4.8	T
49	1990-04-30-03:24	36°07'	100°01'			2.9	2.9	0.77	5.9	T
50	1990-04-30-14:11	36°11'	100°14'			3.1	3.0	1.28	19.1	T
51	1990-04-30-18:02	36°13'	100°07'			2.9	2.9	1.10	12.6	T
52	1990-04-30-18:30	36°12'	100°07'			2.6	2.7	1.15	14.1	T
53	1990-04-30-18:38	36°00'	100°24'			3.9	3.7	1.23	17.2	T
54	1990-04-30-20:28	36°09'	100°00'			4.6	4.4	1.20	16.0	T
55	1990-04-30-20:37	36°08'	100°01'			3.1	3.0	1.17	15.0	T
56	1990-04-30-23:50	36°06'	100°22'			4.1	3.9	1.22	16.6	T
57	1990-05-01-01:20	36°12'	100°11'			4.1	3.9	1.03	10.6	T
58	1990-05-01-07:32	36°04'	100°02'			4.3	4.1	1.22	16.6	T
59	1990-05-01-10:07	36°04'	100°04'			4.2	4.0	0.90	7.9	T
60	1990-05-01-13:17	36°05'	100°18'			2.5	2.5	1.45	28.2	T
61	1990-05-01-17:57	36°09'	100°01'			3.0	3.0	1.04	10.8	T
62	1990-05-02-02:59	36°03'	100°05'			2.3	2.5	0.88	7.7	T
63	1990-05-02-13:03	36°04'	100°09'			3.1	3.0	1.17	14.8	T
64	1990-08-09-00:37	34°19'	105°07'	1		3.8	3.6	1.13	13.5	T
65	1990-10-20-16:07	37°07'	103°36'	3		6.2	6.3	1.49	30.9	T-S
66	1991-01-02-10:58	38°09'	99°54'	3	5.1		5.5	0.96	9.0	S-N
67	1991-04-26-07:12	33°00'	104°32'	1		3.7	3.5	0.79	6.2	T
68	1991-04-26-07:30	32°55'	104°38'	17		4.0	3.8	1.45	28.5	T
69	1991-05-10-11:55	39°38'	98°12'	14		3.8	3.6	1.20	15.8	T
70	1991-10-31-18:29	38°57'	99°18'	8		4.3	4.1	0.85	7.0	S
71	1992-01-12-08:12	39°45'	98°19'	20	5.4		5.7	1.31	20.2	T
72	1992-03-20-20:03	39°08'	98°47'	32		4.1	3.9	1.80	62.4	T
73	1992-08-21-19:19	38°10'	99°33'	2		4.5	4.3	1.53	33.9	T

注: N—正断层; S—走滑断层; T—逆断层

结果稍大, 究其原因, 估计是不同地区 k_a 的取值范围不同所致, 其次还与震源参数测定的偏差有关。

本文对甘肃等地区观测资料进行计算的结果表明, (3)式具有一定的可靠性。

(2)从图 1 可明显看出, 同样大小的不同地震, 由于地质背景的差异, 其对应的环境应力具有较大的变化范围。由(3)式可知, 这种变化将导致同等大小的地震产生的地面运动加速度值具有极大的差别, 此结论与实际观测结果是一致的。

地震的破坏性取决于环境剪应力的大小, 只有环境剪应力较强的区域才会发生破坏性较强的地震(震级并不一定都很大)。因此, 了解各地区的环境剪应力场, 可为工程抗震提供较合理的地震动参数。

(3)震源深度和发震断层的类型对环境剪应力具有较大的影响^[3]。地质力学认为张性地质构造环境容易产生正断层地震(表 1 中用 N 表示), 其 τ_0 相对较小; 压性地质构造环境容易产生逆断层地震(T), 其 τ_0 相对较大; 走滑断层地震(S)的 τ_0 则居于前两者之间。深度很浅的地震, τ_0 值一般较小, 原因是它所处的环境不能积累起较大的应力。深度在 10 ~ 20 km 的地震, 其地质环境能积累起较大的应力, 所以其 τ_0 值也较大。

根据表 1 中的数据求得 τ_0 与震源深度和断层类型的关系(图 2)。由图 2 可知, 对于震源深度大于 5km 的地震, 其 τ_0 值在 5MPa 以上者占绝大多数; 而震源深度大于 10 km 的地震, 其 τ_0 值大于 10MPa 者约占 2/3, 有一定的规律性。

从图 2 中还可看出, 大多数逆断层地震产生的 τ_0 值相对

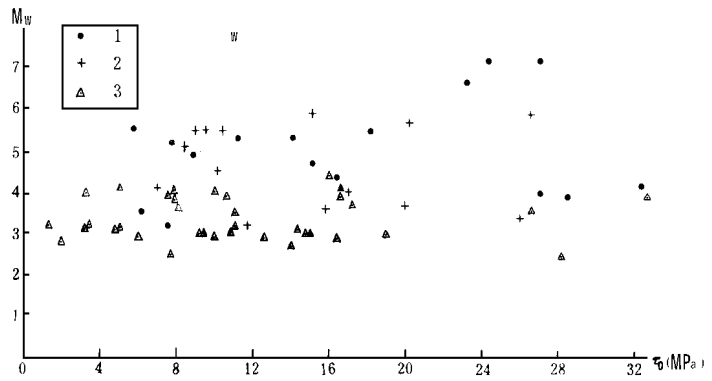


图 1 环境剪应力 τ_0 与矩震级 M_w 的关系

Fig. 1 The relation between τ_0 and M_w .

1 松潘—平武地震; 2 肃南、祁连、冷龙岭地震; 3 青海共和地震

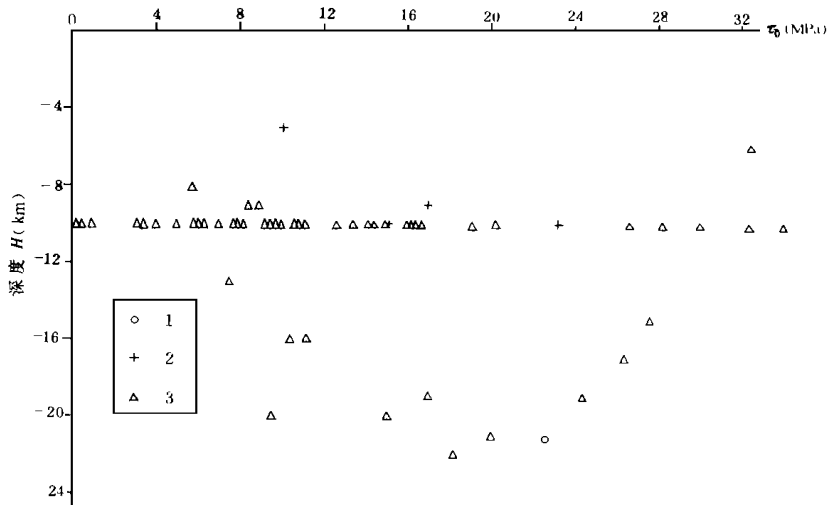


图 2 环境剪应力值 τ_0 与震源深度和断层类型的关系

Fig. 2 The relation of τ_0 to the focal depth and fault type.

1 正断层地震; 2 走滑断层地震; 3 逆断层地震

较大, 有 2/3 的逆断层地震所产生的 τ_0 值都在 10MPa 以上。由于正断层、走滑断层事件数很少, 因此该图还反映不出其规律性。

参考文献

- 1 陈培善, Duda S J. 峰值速度和加速度对环境剪应力的依赖性. 地球物理学报, 1993, 36(2): 185 ~ 194.
- 2 McGarr A. Scaling of ground motion parameters, state of stress, and focal depth. J. Geophys. Res., 1984, 89: 6969 ~ 6979.
- 3 陈培善, 肖磊, 白彤霞, 等. 唐山地震系列的环境应力场. 地震学报, 1994, 16(4): 440 ~ 447.

THE INFLUENCE OF ENVIRONMENTAL SHEAR STRESS FIELD ON PEAK ACCELERATION IN GANSU REGION

Xia Genhong Zhang Shuxun

(*Earthquake Research Institute of Lanzhou, SSB*)

Abstract

By using 228 acceleration records of 73 events such as Songpan-Pingwu, Sunan, Gonghe earthquakes, shear stress values are calculated according to the theoretical formulas derived by Mr. Chen Peishan and influence of environmental shear stress field on peak acceleration is studied based on earthquake-triggering tectonic environment.

Key words: Tectonic stress field, Gansu, Peak acceleration