

祁连山中东段断裂的地震危险性分析^{*}

王永成, 刘百箴

(中国地震局兰州地震研究所, 甘肃 兰州 730000)

摘要:利用祁连山中东段活动断裂的定量参数和“时间相依”的概率模型,对该地区断裂在未来一定时段内的发震概率进行了分析,认为该地区老虎山-毛毛山断裂的毛毛山段和金强河段的发震概率较高,其他断裂的发震概率很低;未来10年和20年,毛毛山段的发震概率分别为15.76%和29.03%,金强河段的发震概率分别为15.33%和28.41%,2段联合发生7.5级地震的概率分别为28.67%和49.19%。未来50年2段联合发生7.5级地震的概率为81.79%;通过对兰州地区1125年7.0级地震破裂带遗迹的考察,得出马衔山断裂未来50年发生 $M_S \geq 7.0$ 地震的概率为19.87%。

关键词:祁连山; 活动断裂; 发震概率; 地震危险性评估

中图分类号: P315.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0844(2001)04-0330-09

0 引言

近年来“时间相依”的地震危险性概率评估方法^[1~4]逐步得到发展.利用该方法可以将活断层定量研究获得的数据,如断层几何参数、平均滑动速率、同震位错、古地震期次、大震复发间隔和离逝时间等应用于活断层未来发震概率评估,因此该方法特别适用于缺乏历史地震记载或仪器记录资料的断层的中长期地震危险性概率评估.但是由于活动断裂的定量研究数据都在不同程度上存在观测或实验误差,从而使得地震复发间隔和危险性概率等研究结果存在较大的不确定性.如何减小评估结果的不确定性,这是在活断层地震危险性评价工作中需要解决的主要问题.为此,我们收集了祁连山中东段活动断裂的定量参数,对这些参数进行了分析和整理,提高其精度,在此基础上,利用适合中国内陆地区的时间相依的概率模型,对该地区未来一定时段内断层破裂概率和地震危险性进行了评估.

1 祁连山中东段主要断裂活动特征

祁连山活动断裂带位于青藏高原东北缘,与牛首山、香山-天景山、六盘山和陇县-宝鸡等活动断裂带共同组成青藏高原东北缘的向NE方向突出的弧形断裂系.该断裂带的大地构造位置属于北祁连褶皱带与河西走廊过渡带的交接部位.该断裂带晚第四纪以来表现为整体活动性强,地震活动频度高、强度大的特点.该区新构造应力场和现代构造应力场的主压应力

收稿日期: 2001-01-12

基金项目: 国家重点基础研究项目(95-13-01-04); 中国地震局“九五”重点课题(95-04-10-03); 中国地震局兰州地震研究所论著编号: LC2001055.

作者简介: 王永成(1972-), 男(汉族), 江苏扬州人, 硕士, 主要从事地震地质方面的研究.

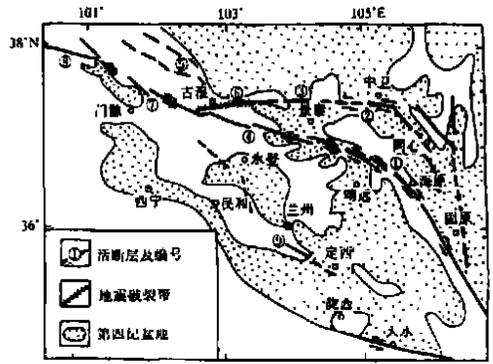
^{*} 本文是作者的硕士论文的一部分.

方向稳定. 以 NE 向为主, 并具有继承性. 早期该断裂带活动以逆倾滑为主, 中、晚更新世以来则转变以左旋走滑为主^[3]. 其中各条断裂的几何学、运动学及活动性见图 1 和表 1.

2 活动断层定量研究数据精度的提高

2.1 断错地貌年代的校正

在计算断层的滑动速率时, 微地貌位错的测量误差通常不大, 而被断错地貌的年龄的确定则存在较大的误差, 它将直接影响到断层滑动速率的计算结果. 我们对所收集到的各阶地的高度和年龄的关系进行了统计(图 2), 发现虽然黄河阶地级数与其它河流阶地级数存在较大的差别, 但阶地高度与阶地年代之间都存在一定的关系, 即随着阶地级数的增加, 阶地的拔河高度就越高, 其形成年龄就越老^[6]. 袁道阳等^[4]给出的青藏高原东北缘地区河流阶地的拔河高度 H 和形成年龄 T 的统计关系为:



- ① 海原断裂; ② 香山—天景山断裂;
- ③ 白墩断裂; ④ 老虎山—毛毛断裂;
- ⑤ 皇城—双塔断裂; ⑥ 哈溪—大靖断裂;
- ⑦ 冷龙岭断裂; ⑧ 托莱山断裂;
- ⑨ 马衔山北缘断裂

图 1 祁连山中东段活动断裂分布

Fig. 1 Distribution of active faults in mid-eastern Qilianshan area.

表 1 祁连山中东段活动断裂特征

断裂名称	分段	长度 / km	产状			运动性质	地震
			走向	倾向	倾角		
海原断裂	月亮山东麓段	60	320°~330°	SW	35°~81°	左旋兼逆断	—
	南西华山北麓段	73	290°~350°	NE	40°~83°	左旋兼正断	1920 年海原 8.5 级
	黄家洼—北漳山段	64	290°~310°	NE	50°~80°	左旋走滑	—
	哈思山—米家山段	67	290°~310°	NE	50°~80°	左旋兼正断	—
香山—天景山断裂	东段	36	277°	SW	较陡	逆走滑	—
	中段	30	280°	NNE	陡	逆走滑	1709 年中卫 7.5 级
	西段	61	305°~350°	SSW—NNE	陡	逆走滑	—
白墩断裂	全段	90	NW	S	较陡	左旋兼逆断	—
老虎山—毛毛山断裂	老虎山段	62	280°~290°	NE	50°~80°	左旋兼正断	1888 年景泰 7 级, 1990 年景泰 6.2 级
	毛毛山段	50	280°~290°	SW	45°~75°	左旋兼逆断	—
	金强河段	34	280°~290°	NE	60°~70°	左旋兼逆断	—
皇城—双塔断裂	皇城段	65	N70°W	SW	53°	逆断兼左旋	—
	上寺段	36	N45°W	SW	70°	逆断	1927 年古浪 8.0 级
	冬青顶段	40	N70°E	SE	50°	逆断(北), 正断(南)	—
哈溪—大靖断裂	天桥沟段	42	N80°W	S	陡	左旋	—
	黄羊川段	45	N80°W	N	66°	左旋	—
	大靖段	60	EW	S	70°	左旋	—
冷龙岭断裂	东段	8	EW	NE	65°	左旋走滑	—
	中段	53	N55°~60°W	SE	—	左旋走滑	1540 年冷龙岭 7.2 级
	西段	16	EW	N	—	—	—
托莱山断裂	全段	280	NW	变化	—	左旋走滑	—
马衔山北缘断裂带	全段	115	N60°W	—	—	左旋走滑	1125 年兰州 7.0 级

(1) 青藏高原东北缘走滑断裂地区: $\ln T = 1.238 \ln H - 0.295$ (1)

(2) 青藏高原东北缘推覆体地区: $\ln t = 0.59 \ln h + 1.239$ (2)

根据以上关系式,只要能较准确地测定各级阶地的拔河高度,便可得到该阶地大致形成年代,从而可以较准确地划分第四纪微地貌单元和确定其形成年代.这样至少可以排除由于不同的测试方法、不同的采样位置及不同人员操作所造成的误差.

2.2 断层滑动速率计算结果的校正

选取了老虎山断裂的金堂洼段,计算其滑动速率.近年来在中法合作项目已对此段作了十分详细的工作.通过对该地区进行的 1:2 500 超大比例尺填图,研究证实了该段的最大冲沟位错为 125 ± 10 m,这一位错量是 II 级阶地形成至今的位置.在野外实测 III 级阶地拔河高度为 11 m,利用式(1)计算得到 II 级阶地形成年代为 14 400 a.从而得到该段的滑动速率为 (8.68 ± 0.69) mm/a.此外,还计算了老虎山断裂带在马莲泉子段的滑动速率.在该段 I ~ V 级均被断错.

实测 III、IV 级阶地的位错分别为 550 m 和 950 m 左右,利用式(1)计算出其形成年代分别为 72 000 a 和 117 500 a,从而得到该段的滑动速率为 $(7.64 \sim 8.10)$ mm/a.这一滑动速率与金堂洼段的滑动速率很接近.因此我们将 (8.68 ± 0.69) mm/a 作为老虎山断裂的平均滑动速率.

应用上述方法,对祁连山中东段其他各条断裂的滑动速率重新进行了计算,结果见表 2.

2.3 古地震年代的确定

由于测年结果的不确定性,可能会造成在不同剖面上确定的同一次古地震事件的年代有所差异.为此,我们重新分析了老虎山-毛毛山断裂带上的探槽资料.同时为弥补古地震剖面资料的不足,将运用扩散方程计算的断坎年代也作为古地震年代资料.采取“事件窗”逐次限定法^[7],对该断裂不同部位的探槽揭露的古地震事件的年代逐次缩小其上限和下限,从而对其发生年代作出较科学的估计.

由老虎山-毛毛山断裂全新世古地震事件时序图(图 3)可以看出:以老虎山吊沟口为界,该断裂老虎山段的破裂相对于毛毛山段和金强河段是独立的,而且具有准周期破裂特征.毛毛山段和金强河段则常组合在一起共同破裂.根据上述逐次限定法,可以确定老虎山-毛毛山断裂带距今 1×10^4 a 以来老虎山段和毛毛山-金强河段分别发生 6 次古地震事件(表 3).

2.4 重复周期、离逝时间及同震位错

利用逐次限定法确定古地震事件年代,从而得出各条断裂的古地震平均重复周期.

离逝时间则通过确定最后一次古地震事件发生的年代来计算.最后一次古地震事件可以是断裂带上揭露的最后一次事件,也可以根据历史地震的记载确定.

同震位错的计算依据甘卫军^①在 1995 年给出的公式:

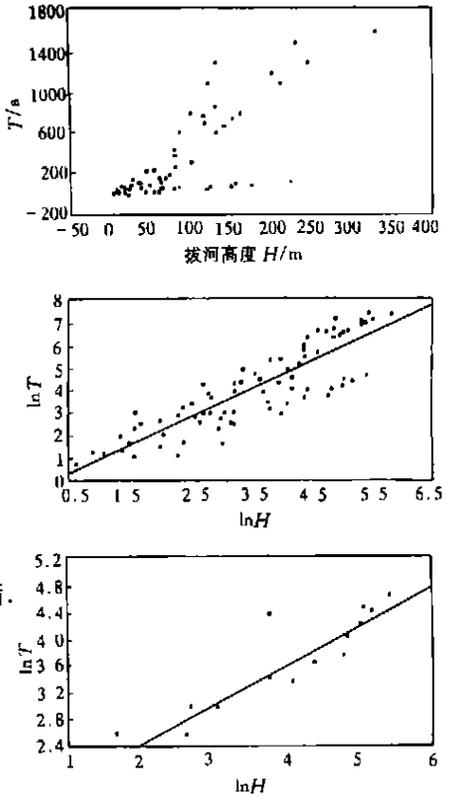


图 2 阶地高度与年龄的统计关系
Fig. 2 Relationship between height and formed age of terraces in studied area.

① 甘卫军. 北祁连山活动断裂东段大震危险性概率评估. 硕士学位论文, 1995.

表 2 祁连山中东段活动断裂定量研究数据

断裂名称	分段	滑动速率/ [mm·a ⁻¹]	同震位错 /m	古地震年代 /a B. P.	历史地震	重复周 期/a	离逝时间 /a	障碍体	特征地震	
									一级	二级
海原断裂	月亮山 东麓段	5.55	2.45	8 534±80 6 952±328 5 870±318 922±54 79	1920 年 8.5	1 000	79	油房院 分叉区	7.1	8.5
	西南华 山北麓 段	8.19	3.16	8 534±80 6 952±328 5 870±318 4 560±187 2 670±158 922±54 79		1 400		干盐池 拉分盆 地	7.3	
	黄家洼 —北漳 山段	5.26	2.82	8 534±80 6 252±276 4 560±187 2 670±158 922±54 79		1 700			7.2	
	哈斯山 —米家 山段	6.69	2.95	8 534±80 3 865±152 79		4 000		邵水 盆地	7.2	
香山— 天景山 断裂	东段	0.61	1.58	30 265±960 27 970±555 11 070±105 8 550±80		2 400			6.7	7.6
	中段	1.50	1.32	16 820±1 350 13 315±205 8 868±432 5 805±705 2 825±365	1709 年 7.5	3 500	290		6.5	
老虎山 —毛毛 山断裂	西段	0.53	2.68	28 290±590 22 045±495 17 240±260 13 015±95 8 868±432 800±100		4 500			6.7	
	老虎山 段	8.68±0.69	2.69	5 750±350 4 250±100 3 100±150 2 200±200 860±100 1 888 A. D.	1888 年 7.0 东段 1990 年 6.2 西段	1 000	—	黑马圈 河分区	7.2	8.0
皇城— 双塔断 裂	毛毛山 段	8.35	2.19	9 000±100 8 600±150 6 350±250 4 650±150 3 600±150 1 750±100	1 750±100	1 600	1 750±100	天祝左 阶拉分 盆地	7.1	
	金强河 段	6.54	1.48	3 600±150 1 750±100					6.6	
哈溪— 大靖断 裂	皇城段 上寺段	— 0.81	2.82 1.58	— —	— —	— —	— —	— —	7.2 6.7	7.9
	冬青顶 段	0.83	1.78	7 700±600 3 400±300	1927 年 8.0	3 500	72	—	6.8	
	天桥沟 段	4.18	1.78	27 700±2 200 21 300±2 400 16 800±1 400 13 700±1 200 10 300±1 700 7 590±100				左阶拉 分区 右阶拉 分区	6.6 6.8 7.1	
冷龙断 裂	大靖段	—	2.45	7 590±100					7.1	7.8
	东段	3.46	2.45	5 926 4 050±160	1540 年 7.2				7.1 7.3	7.8
	中段	4.55	3.09	2 900±270 1 560±360 459	1986 年 6.4 门源	1 370	459			

(续表2)

断裂名称	分段	滑动速率/ [mm·a ⁻¹]	同震位错 /m	古地震年代 /a B. P.	历史地震	重复周期/a	离逝时间 /a	障碍物	特征地震	
									一级	二级
托莱山断裂		12.0	3.81	13 960±1 020 6 080±450 4 00±500	—	2 000~ 3 000	1 000 500		7.5	
马衔山断裂		2.5~3.0	2.19	—	1125年 7	1 000	875		7.0	

$$M = 3.44 \pm 2.08 \lg L \tag{3}$$

$$GM = 6.28 \pm 2.09 \lg D \tag{4}$$

$$\lg D = -1.36 \pm \lg L \tag{5}$$

式中: M 为震级; L 为破裂长度; D 为同震位错.

根据同震位错量即可确定各段的特征震级.

重复周期、离逝时间和同震位错的计算结果见表2.

表3 老虎山-毛毛山断裂的古地震事件年代

老虎山段		毛毛山—金强河段	
古地震事件编号	发生年代	古地震事件编号	发生年代
1	(5 750±350) a B. P.	1	(9 000±100) a B. P.
2	(4 250±100) a B. P.	2	(8 600±150) a B. P.
3	(3 100±150) a B. P.	3	(6 350±250) a B. P.
4	(2 200±200) a B. P.	4	(4 650±150) a B. P.
5	(860±100) a B. P.	5	(3 600±150) a B. P.
6	1 888 A. D.	6	(1 750±100) a B. P.

2.5 破裂分段

在前人研究的基础上, 我们确定了以下4项分段原则:

(1) 几何学: 利用断层几何形态的变化等作为标志对活动断裂进行分段, 如断层的不连续及不平整部位的存在, 挤压或膨胀阶区, 断层走向的变化、弯曲、分布或其它构造的交叉等.

(2) 滑动速率及障碍物研究: 各段滑动速率的差异则反映了各段的相对活动性, 因而可通过滑动速率对活动断裂进行分段. 同时障碍体的存在也可作为划分标志.

(3) 古地震和历史地震活动: 根据古地震事件和历史地震震级的大小、复发间隔以及破裂状况进行分段.

(4) 地球物理特性: 根据重、磁异常的分布与断层破裂活动的关系对活动断裂进行分段. 对祁连山中东段地区主要活动断裂的分段结果见表2.

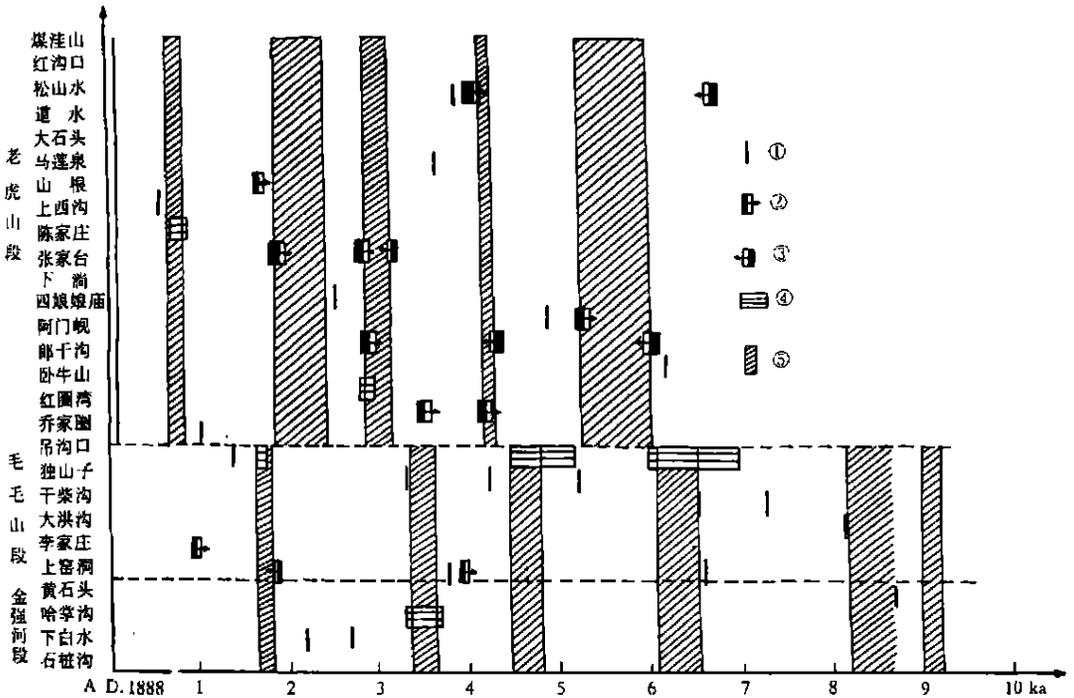
3 祁连山中东段地震危险性概率评估

3.1 特征地震发生条件概率分布和实时概率模型

特征地震发生条件概率的计算公式^[8]为:

$$P(A | B) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)} = \frac{\int_0^{T_c} + \Delta T f(T) dT - \int_0^{T_c} f(T) dT}{1 - \int_0^{T_c} f(T) dT}$$

式中: T_c 为自上一次地震发生以来逝去的时间长度; A 和 B 代表地震事件; T 为一个断裂段地



1 陡坎年龄; 2 古地震上限年龄及误差; 3 古地震下限年龄及误差; 4 古地震年龄区间; 5 综合确定的古地震年龄范围
 图 3 老虎山-毛毛山断裂全新世古地震事件时空分布

Fig. 3 Space-time distribution of palaeoearthquakes in Holocene along Laohushan-Maomaoshan fault.

震的具体复发间隔; $f(T)$ 为概率密度函数, 用来描述地震复发时间间隔的不确定性. Nishenko 和 Buland^[8] 根据环太平洋板块边界原地复发 3 次或 3 次以上的地震资料, 研究了特征地震的准周期复发间隔, 得到归一化复发间隔 T/T 数据很好地服从于参数 $\mu_D = -0.01$, $\sigma_D = 0.215$ 的对数正态分布. 这一分布亦称为“NB”模型. 其中: T 为该段地震的中位数复发间隔, μ 为分布均值, σ 为变异系数.

3.2 地震复发行为的判别及复发间隔经验分布的检验

通常判别地震的复发行为用变异系数 σ , 即复发间隔的标准差 S 与平均值 T_{av} 之比. 该系数描述了实际复发间隔偏离平均复发间隔的程度. 当 $\sigma < 1$ 时, 复发表现出准周期特征, $\sigma > 1$ 时复发表现出丛集特征, 当 $\sigma = 1$ 时, 复发是完全随机的泊松过程. 闻学泽^[2] 分析了 19 个断裂段的地震复发行为, 结果表明: (1) 良好的准周期性与时间可预报性是大陆活动断裂带破裂地震的 2 种最普遍的复发行为. 当 $\sigma < 0.4$ 时为准周期性, $1 > \sigma > 0.4$ 时则表现为时间可预报性. (2) 当 $\sigma < 0.4$ 时, 不同轮回的地震事件的震级差在 ± 0.5 之内, 据此可对未来事件的震级作出估计. (3) 时间可预报复发间隔相当好地服从对数正态分布, $\mu_t = 0$, $\sigma_t = 0.15$. (4) 将准周期复发间隔分布与 NB 模型合并, 并进行 F 检验与 Smirnov 检验. 结果表明, 对于地震准周期复发间隔的概率分布, 中国大陆与环太平洋板缘 2 种构造环境的统计模型没有显著区别. 对合并后的 67 个样本重新建模, 得到一个更加稳定的、适合于准周期复发间隔的通用对数正态分布, 由最大似然法估计出该分布的参数 $\mu_q = 0$, $\sigma_q = 0.24$.

3.3 祁连山中东段活动断裂地震危险性概率

在上述研究的基础上, 对通用的分布密度函数, 采用梯形法考虑离逝时间的不确定性, 计算了祁连山中东段各条活动断裂的发震概率, 结果见表 4.

由表4可见,老虎山-毛毛山断裂的毛毛山和金强河2段的破裂概率比其他断裂带高得多,因此我们又对这2段断裂未来10 a和20 a的破裂概率进行了计算,结果见表5.

表4 祁连山中东段各条断裂的发震概率

断裂名称	分段	变异系数 σ	发震概率/%				
			同震位错/m	特征震级(M)	50 a	100 a	500 a
海原断裂	月亮山东麓段	0.34	2.45	7.1	0.00	0.00	0.00
	西南华山东麓段	0.69	3.16	7.3	0.00	0.00	0.00
	黄家洼—北漳山段	0.31	2.82	7.2	0.00	0.00	0.30
	哈斯山—米家山段	0.48	2.95	7.2	0.00	0.00	0.00
香山—天景山断裂	东段	0.25	1.58	6.7	0.00	0.00	0.00
	中段	0.24	1.32	6.5	0.00	0.00	1.62
	西段	0.24	2.68	6.7	0.00	0.00	0.00
老虎山—毛毛山断裂	老虎山段	0.24	2.69	7.2	0.00	0.00	56.43
	毛毛山段	0.21	2.19	7.0	57.58	81.99	99.99
	金强河段	0.21	1.48	6.6	57.06	81.35	99.99
皇城—双塔断裂	皇城段	—	2.82	7.2	—	—	—
	上寺段	—	1.58	6.7	—	—	—
	冬青顶段	0.39	1.78	6.8	0.00	0.00	0.00
哈溪—大靖断裂	天桥沟段	0.15	1.78	6.8	0.00	0.00	0.00
	黄羊川段	0.15	1.78	6.8	0.00	0.00	0.00
	大靖段	—	2.45	7.1	0.00	0.00	0.00
冷龙岭断裂	东段	0.29	2.45	7.1	0.00	0.36	33.66
	中段	—	3.09	7.3	0.00	0.45	36.68
	西段	—	—	—	—	—	—
马衔山断裂	—	2.19	7.0	19.87	37.6	95.7	
托莱山断裂	—	3.83	7.5	30.87	55.25	98.6	

表5 老虎山-毛毛山断裂的毛毛山段和金强河段未来时段发震概率

断裂段	特征震级(M)	离逝时间/a	发震概率/%		
			10 a	20 a	50 a
毛毛山段	7.0	940	15.76	29.03	57.58
金强河段	6.6	1 200—1 300	18.29	33.62	66.28
		600—700	15.33	28.41	57.06
二段联合	7.5	1 200—1 300	31.17	52.89	85.70
		600—700	28.67	49.19	81.79
兰州地区	7.0	875	3.76	7.48	18.25

此外,对表5的计算结果需作如下说明:

毛毛山地区李家庄探槽揭露,毛毛山断裂的最近一次古地震事件发生时间下限为940 a,所以离逝时间采用940 a.

金强河段的特征震级仅为6.6级.若在距今1 200~1 300 a发生过古地震事件,则离逝时间约1 250 a.若发生过2次单独破裂事件,则离逝时间为600~700 a.

毛毛山—金强河2段联合破裂概率根据公式: $P_{总} = 1 - (1 - P_{毛}) \times (1 - P_{金})$ 来计算.

4 讨论与结论

由表4和表5可以看出,除了老虎山-毛毛山断裂、马衔山断裂和托莱山断裂外,其他各条断裂带50 a、100 a和500 a的发震概率均为零.这可能说明了一个已经发生过大地震的地区,近期内不会有大地震发生.离逝时间接近或超过大震复发间隔的地区地震危险性较高.其中老虎山-毛毛山断裂的发震概率明显大于另外2条断裂.

由表4可见, 老虎山-毛毛山断裂的毛毛山段和金强河段的发震概率明显大于老虎山段。由表5可见, 未来10年, 毛毛山段和金强河段的发震概率分别为15.76%和18.29%、15.33%, 表明未来10年内该地区的地震危险性较高; 未来20年内, 它们的发震概率分别为29.03%和33.62%、28.41%; 未来50年的发震概率分别为57.58%和66.28%、57.06%。显示出随着时间的延长, 它们的地震危险性明显增大。

甘卫军^①对老虎山-毛毛山断裂的破裂习性和组合规律进行了模拟, 发现老虎山段的破裂在一般情况下呈准周期性和独立性; 毛毛山段单独破裂一次以后, 下一次将与金强河段联合破裂; 金强河段在单独破裂2次后, 下一次与毛毛山段联合破裂。毛毛山段与金强河段联合破裂的平均周期约为1800a左右。

如果金强河段的离逝时间为1250a左右, 那么距今1800a以来, 该段仅破裂过一次, 即仅发生过一次地震。下一次仍是该段单独发震, 未来10年的发震概率为18.29%。在未来10年内该段也可能与毛毛山段联合发震, 概率为31.17%。表明联合发震的概率也比较大。

如果金强河段的离逝时间为600~700a(这种可能性是最大的), 那么距今1800a以来金强河段已单独发生过2次6.6级左右的地震, 则下一次很可能与毛毛山段联合发震。未来10年和20年它们联合发震的概率分别为28.67%和49.19%。

综上所述, 可以认为, 祁连山中东段地区大部分断裂的地震危险性很低。老虎山-毛毛山断裂的毛毛山段和金强河段发生大震的危险性较高, 未来10年和20年2段联合发震的概率分别为31.17%、28.67%和52.89%、49.19%, 震级为7.5级左右。

此外, 我们还对马衔山北缘断裂进行了详细的地质考察, 在该断裂西段首次发现了1125年兰州7级地震的破裂带遗迹。经计算该断裂未来50年的发震概率为18.25%, 100年内则为34.70%。

[参考文献]

- [1] 闻学泽. 时间相依的活动断裂分段地震危险性评估及其问题[J]. 科学通报, 1998, 43(14): 1457-1466.
- [2] 闻学泽, 汪一鹏. 我国活动断裂地震危险性研究的进展与问题[J]. 活动断裂研究, 1999, (7): 1-11.
- [3] Working Group on California Earthquake Probabilities. Earthquake probabilities of large earthquake in the San Francisco Bay Region [Z]. U.S. Geol. Surv. Circular, 1990, 1053: 51.
- [4] Working Group on California Earthquake Probabilities. Earthquake probabilities in the San Francisco Bay Region; 2000 to 2030-A Summary of Findings [Z]. U.S. Geol. Surv. Open-File report, 1999, 99-517.
- [5] 刘百篪. 青藏高原的新生代重要地质事件与构造演化[A]. 见: 中国地震学研究进展[C]. 北京: 地震出版社, 1997. 299-307.
- [6] 袁道阳, 石玉成, 刘百篪. 青藏高原东北缘地区第四纪水系沉积物年代标尺的初步研究[J]. 地震地质, 1999, 21(1): 1-8.
- [7] 毛凤英, 张培震. 古地震研究中的逐次限定法与新疆北部主要断裂带的古地震研究[A]. 见: 活动断裂研究[C], 第4期. 北京: 地震出版社, 1995.
- [8] Nishenko S.P. and Bulang R.A. generic recurrence interval distribution for earthquake forecasting[J]. Bull. Seis. Soc. Am., 1987, 77: 1382-1399.

ANALYSIS ON SEISMIC RISK FOR FAULTS IN THE MID-EASTERN QILIANSHAN AREA

WANG Yong-cheng, LIU Bai-chi

(Lanzhou Institute of Seismology, Lanzhou 730000, China)

Abstract: The recurrence probabilities of earthquakes for faults in future in mid-eastern Qilianshan area are analyzed by using quantitative data for the active faults which are obtained by the authors and other men of learning in recent years and the probability model depending on time, based on improving the precisions of the quantitative data. The results are as follows: (1) The recurrence probabilities of strong earthquake on Jinqiang river and Maomaoshan segments of Laohushan-Maomaoshan fault are higher. Except the two segments, the probabilities of $M_S \geq 7.0$ earthquakes on faults in the area are nearly zero in future 100 years. (2) The probabilities of strong earthquakes on the two segments are 15.76%, 29.03% and 15.33%, 28.41% respectively and the probabilities of the two segments together are 28.67% and 49.19% respectively in future 10 and 20 years. In future 50 years, the probability of $M_S 7.5$ earthquake on the two segments together is 81.79%. (3) The probability of $M_S \geq 7.0$ earthquake on Maxianshan fault in future 50 years is 19.87%.

Key words: Qilianshan; Active fault; Earthquake recurrence probability; Seismic risk assessment

(上接 329 页)

FORWARD SIMULATION OF ELASTIC WAVES FIELD IN INHOMOGENEOUS ANISOTROPIC MEDIUM

RUAN Ai-guo¹, LI Qing-he²*(1. Lanzhou Institute of Seismology, CSB, Lanzhou 730000, China;**2. Seismological Bureau of Jiangsu Province, Nanjing 210014, China)*

Abstract: The basic formula of pseudo-spectral method are derived for simulating inhomogeneous anisotropic elastic waves field. The boundary modifying equations of characteristic variables method are derived thoroughly which have been presented by previous authors separately, and the explicit formula of 3D and 2D problems of solid and liquid media are given. 2.5D elastic wave field of two models are simulated, moreover, the polarization and time delay of S wave splitting are discussed in detail.

Key words: Elastic wave; Anisotropic medium; Pseudo-spectral method; Characteristic variable