

断层相互作用导致的布里季曼效应 及其在发震中的意义

郭安宁

(国家地震局兰州地震研究所)

摘要 布里季曼(Bridgman)效应是指脆性介质在5,000bar 高压下断层面静摩擦很大时若对剪切面施加一扭矩作用则粘滑很快发生的过程。本文研究了断层旋性变化及断层彼此交汇相互作用而产生布里季曼效应的问题,并结合1931年富蕴8级大震的断裂带具体讨论了该问题。

关键词: 布里季曼效应 断层相互作用

1 前言

布里季曼效应是美国人布里季曼(Bridgman)于1935年在研究高压情况下材料的力学性质时发现的。后来在1936年,1937年和1946年他又一再用实验证实了该发现。布里季曼发现,围压越高,单轴压力致错越困难,对于不同的材料,存在不同的临界压,在这个压力之上,无论加多大的单轴压力都不会发生错动,但是,如果施加一个跟单轴力方向平行的扭矩,剪切错动就容易发生了,即扭矩降低了高压下材料的抗剪强度,这就是布里季曼效应。布里季曼效应在地震地质中的作用是:一发震的活断层不论是平推断层或是正、逆断层,只要在断层面上施加一扭矩作用就可使该断层在围压很高的情况下(5,000bar)发生剪切错动而发震。这一效应可回答1963年新西兰地震学家爱维森(F. F. Evison)提出的问题^[1],即正压力太大时,断层错不动,随着时间的延长,介质就逐渐软化而不会发生地震了。由于布里季曼效应的这一结果避免了上述蠕滑释放能量的情况发生。从这一点来说,布里季曼效应是有促使地震发生的作用的,是一种使地震危险性提高的因素。因此,研究和寻找该效应的指标将有助于对震源发震的认识和有助于判定地震危险性。

2 布里季曼效应的理论讨论

布里季曼效应产生的条件有三点是重要的,即断层面上正压力甚大,断层带上的介质是脆性的,断层面上要加旋转力才能发生粘滑,从而引起地震。

地壳中的大震震源,其断层面的不同深度上围压不同,即断层面上的正压力随深度而增加。在该面的下部,即30km左右的深度上,正压力接近5,000bar,它已接近布里季曼的实验条件。这就是说大震震源断层面的下部存在布里季曼效应呈现的条件。另一方面,在区域构

• 1992地震联合基金资助课题

造压力作用下,断层面整个尺度上与该构造压力的夹角较大时,断层面上正压力很大。例如构造压力比静压力大若干倍时,断面上的正压力就可达到布里季曼效应所相应的压力值。对于上述两种情况,都会出现粘滑难以发生的情况。而布里季曼效应是有助于回答上述情况下的大震发生问题的。

在我国,大震多以走滑错动(过去叫平推错动)为主,并迭加有垂直错动。这个垂直错动就可体现布里季曼效应。此布里季曼效应发生后,降低了断面上的摩擦力,于是走滑错动被触发,进而发生大震。具有上述效应的震源,如图1所示。这是一种最简单的情况。在后面还要根据此简单情况所表达的效应来讨论断层相互作用所体现的布里季曼效应。为什么旋转

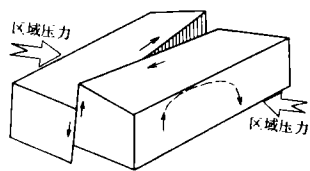


图1 体现布里季曼效应的垂直差异力

Fig1 The vertically differential stress reflecting the Bridgman's effect.

容易发生粘滑呢?我们的看法是旋转具有自治的互让位作用。因之约束刚度较小。图1所示的错动特征在大地震时常有出现。如1920年海源8.5级大震,其断层长达200km以上,沿整个断层以平推错动为主,但在西北段有南盘下降和北盘上升的错动,而在东段则北盘下降和南盘上升,这种垂直错动的形式变换是伴有断层盘旋转运动的。因之是布里季曼效应的体现。又如1906年台湾嘉义7级大震,北东东走向的地表断层其全段为同一旋性的走滑错动,但沿其中较长的西南段出现南盘上升和北盘下降的情况,沿较短的东北段出现北盘上升和南盘下降的情况。在国外,这种例子也不少,例如1936年日本学者大冢弥之助就指出^[3],对于美国

和日本的不少大震,其断层的水平错动在全段是同一旋性的,而垂直错动则在全段的不同段上其方向有转换。以上情况说明,在大地震时体现布里季曼效应的垂直差异力是有一定的普遍性。一般认为大地震的错动情况大都是第四纪以来活动断层的继承性活动,因之大地震反映的错动特征也应在活动断层上有所反应。反过来说,活动断层的错动特征对今后预测大震的错动特征是有一定的推断意义。这其中就包含着这个活动断层的垂直差异力形成的旋转也对今后的发震具有一定的作用。

3 断层自身旋性及断层彼此相互作用产生布里季曼效应的讨论

在断层面上产生布里季曼效应的最基本的核心问题就是在断层面上施加一扭矩作用。可能产生这种作用的方式很多,但就对断层自身旋性的变化及断层间彼此相互作用而言,可有以下几种方式。

3.1 自身旋性变化的情况

3.1.1 平推为主要错动的断层 对此类断层,当沿其走向上有不同程度的正、逆断层的倾滑分量时,可认为该断层面的正、逆倾滑分量对以平推为

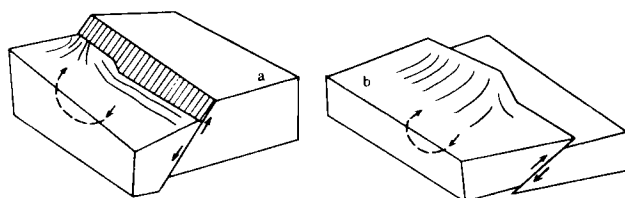


图2 正断层和逆断层所呈现的旋扭作用

a. 正断层; b. 逆断层

Fig. 2 Normal and thrust faults showing torsional processes.

主的错动施加一扭矩作用,即可能有布里季曼效应发生,这已在前边图1中表示过了。

3.1.2 正逆错动为主的断层 若是一呈正、逆错动为主的断层,其正、逆分量在断层的走向上程度不一致,即可认为该断层面上有扭矩作用产生,因而可能发生布里季曼效应,如图2所示。

3.2 断层交汇相互作用的情况

在这一点上概括起来较为简单,即对于一个平推断层来说,只要与之交汇的是正或逆断层都会有扭矩作用发生在平推断层的断层面上,并产生布里季曼效应。其立体剖面如图3所示。

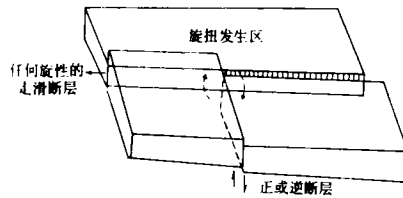


图3 断层彼此交汇产生布里季曼效应示意图

Fig. 3 The Bridgman's effect produced by intersecting faults.

4 有关1931年8月新疆富蕴8级地震布里季曼效应的讨论

众所周知,富蕴8级地震发生在可可托海——二台活断裂上,该断层位于新疆东北部的阿尔泰山西南麓,长达184km,是亚洲大陆腹地阿尔泰山——蒙古西部地区发育的一组北北西向剪切破裂带中最醒目的一条活断层。二台活断层在卫星影象上表现出极为清晰的线性特征,在区域重力和航磁异常图上亦不同程度反映出浅部断层性质,显示出断层有明显位移。从地貌上看,该断裂是一条强烈右旋错动的断层,自形成以来至今错幅已达26km。

本文所要讨论的是可可托海——二台活断裂与其它断裂交汇时在前者断层面上产生旋扭作用进而产生布里季曼效应的问题。图4是二台断层的构造图。二台活断层深深地切断了额尔齐斯深断裂,地震震中正好位于被切割错断的这26km范围的中部。对于可可托海一二台活断裂来说,它是一条强烈裂错动的平推断层。而额尔齐斯大断裂在此处表现为强烈运动的逆断层性质,该断层西南盘上冲,东北盘下降。这样它交汇于可可托海一二台活断裂就会对后者施加旋扭作用,因而布里季曼效应就会发生。这是从地质构造资料来分析的。另外,从1931年富蕴大地震断裂带的分段特征研究来看显示正逆断层被分成不同的三段。北部引张段以恰尔沟为界向北长55km,在该段内断裂表现为正断层性质;中部主体走滑段是从恰尔沟向南至库尔杂克萨依长111km的地段,该段内先由右旋走滑兼逆断层变为右旋走滑兼正断层,而后又变成右旋走滑兼逆断层;在南端破裂带即第三段又变回为右旋走滑兼正断层^[3]。从这些资料可以看出,可可托海一二台走滑活断裂带利于布里季曼效应在其断层面上发生。

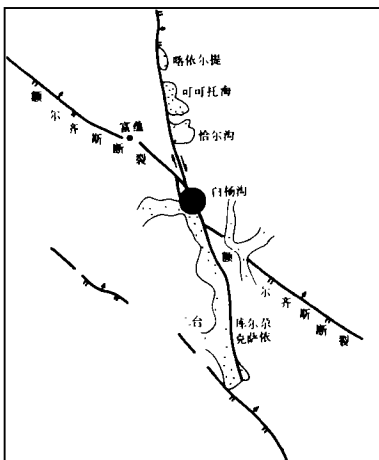


图4 富蕴断裂带与交汇断层形成旋扭作用示意图

Fig. 4 The torsional action caused by the Fuyun fault and intersected faults.

图4是二台断层的构造图。二台活断层深深地切断了额尔齐斯深断裂,地震震中正好位于被切割错断的这26km范围的中部。对于可可托海一二台活断裂来说,它是一条强烈裂错动的平推断层。而额尔齐斯大断裂在此处表现为强烈运动的逆断层性质,该断层西南盘上冲,东北盘下降。这样它交汇于可可托海一二台活断裂就会对后者施加旋扭作用,因而布里季曼效应就会发生。这是从地质构造资料来分析的。另外,从1931年富蕴大地震断裂带的分段特征研究来看显示正逆断层被分成不同的三段。北部引张段以恰尔沟为界向北长55km,在该段内断裂表现为正断层性质;中部主体走滑段是从恰尔沟向南至库尔杂克萨依长111km的地段,该段内先由右旋走滑兼逆断层变为右旋走滑兼正断层,而后又变成右旋走滑兼逆断层;在南端破裂带即第三段又变回为右旋走滑兼正断层^[3]。从这些资料可以看出,可可托海一二台走滑活断裂带利于布里季曼效应在其断层面上发生。

根据以上所述,在富蕴地震断裂带的断层面上产生了布里季曼效应.这个效应在该地震发生的断面上的作用与含义是:可可托海一二台断裂所受的区域构造压力特强,即相应在断层面上受的正压力很大致使错动很难发生,这时由于断层面上发生了布里季曼效应,因之错动就会很快发生.关于这一点还可由所求出的富蕴大震较大应力降来论证。

在测震学中,计算应力降的公式为:

$$\Delta\sigma = \frac{\mu U_m}{2a}$$

μ 为剪切模量, U_m 为最大错距, a 为断裂带宽度.对于富蕴地震取地震破裂带宽度为176km和深度为19km,破裂带最大水平位移为14m,最大垂直位移为1.4m, $\mu = 3.3 \times 1,011 \text{ dyn/cm}$.经计算应力降为130bar.由此可知富蕴地震是一个高应力降地震.另外,通过对断层面颗粒进行重结晶粒度测定,采用特维斯提出的公式(Twiss, R. J. 1977)计算,得到断裂北段几个标本的应力值为300~400bar(戈澍漠、钱瑞华、谷建中,1985),该应力值是很高的,可见富蕴地震带的震源处在正压应力和围压很高的环境中.在这个环境下围压很可能高出岩石的临界压而致使它不能错动.或是正压力太大,按照爱维森提出的正压力太大断层无法错动而软化不发震的观点断面很可能发生蠕滑,因之在这种环境下富蕴地震带上的应力值过高但不利于发震反而抑制地震的发生,然而,由于富蕴地震带所处的特殊构造环境,很可能在断层面上发生布里季曼效应,布里季曼效应恰恰可以使断层处在高应力高围压的情况下发生大的破裂,所以富蕴地震就有可能发生.由于原先处在高围压高应力的环境中,所以一旦破裂就形成了高应力降。

对于富蕴地震所处的托托可海一二台断裂来说,由于断层还在继承性活动,因之布里季曼效应还继续存在,所以它的地震复发频率可能较高.另一方面,由于布里季曼效应在此作用,同时参与破裂的岩石体积也大,因而今后震级相对也可能较高。

5 结束语

根据本文所作的研究,建议今后在地震地质工作中把可能有布里季曼效应的地质构造段看作为地震危险地段.当然进一步的研究还是必要的。

参考文献

- 1 Bridgman, P. W. ; Effects of high shearing stress combined with high hydrostatic pressure. *Phy. Rev.*, 48, 1935 825--847
- 2 F. F. Evison; *Earthquakes and Faults*, B. S. S. A, 53(5)1963
- 3 大家弥之助; 昭和10年4月21日台湾中部地方に起つた地震に伴へる地震断层, 附地震断层的诸特征, 《东京帝国大学地震研究所汇报》别册第3号
- 4 新疆维吾尔自治区地震局; 《富蕴地震断裂带》, 地震出版社, 1985

(下转第36页)

STUDY ON PREDICTION OF STRONG EARTHQUAKES($M \geq 7$)
IN XINJIANG AND NEARBY AREA

Men Kepei

(*Geophysical Society of Jiangsu Province, Nanjing 210014*)

Abstract

The repeated occurrence of time interval value is defined as temporal orderliness. Seismic activity($M \geq 7$) in Xinjiang and nearby area possesses the temporal orderliness. 21 events($M \geq 7$) since 1716 have occurred at intervals of 60, 41, 30, 25 and 11 years. These values of orderliness can be used to predict the future $M \geq 7$ earthquakes. By using entropy and experiential distribution function, we discuss the location and probability of the next strong earthquake. The result shows that there will be possibility of the occurrence of $M \geq 7$ earthquakes during 1996, 2004 and 2015 in Xinjiang and nearby area.

Key words: Xinjiang. Orderliness. Entropy, Experiential distribution function. Probability of strong earthquake

(上接第28页)

BRIDGMAN EFFECT INDUCED BY INTERACTION
BETWEEN FAULTS AND ITS ROLE IN EARTHQUAKE OCCURRENCE

Guo Anning

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

Abstract

In high confining pressure, Bridgman effect makes fault slip easier. Therefore Bridgman effect plays a role for helping earthquake to occur.

Several types of Bridgman effects induced by interaction between faults have been discussed. Taking the 1931 Fuyun $M=8$ earthquake as an example, the role of Bridgman effect in earthquake occurrence has been discussed.

Key words: Bridgman's effect, Fault interaction