

从 Byerlee 摩擦定律讨论地壳深部岩性与地震破裂的联系^①

郭安宁, 彭立顺, 张向红

(中国地震局兰州地震研究所, 甘肃 兰州 730000)

摘要:探讨了莫霍面起伏与大地震的孕育关系, 认为两者之间相关性不好。其主要原因由 Byerlee 摩擦定律所述系数有关。即在深部条件下摩擦系数与物性无关。

关键词: Byerlee 摩擦定律; 摩擦系数

中图分类号: P315.72

文献标志码: A

文章编号: 1000-0844(2016)增刊 2-0362-02

DOI: 10.3969/j.issn.1000-0844.2016.Supp.2.0362

Discussion on the Relationship between Deep Lithology of the Crust and Seismic Rupture from Byerlee Friction Law

GUO An-ning, PENG Li-shun, ZHANG Xiang-hong

(Lanzhou Institute of Seismology, CEA, Lanzhou 730000, Gansu, China)

Abstract: Discussed the relationship between Moho surface fluctuation and large earthquake, and the correlation between them is not good. The main reason is related to the coefficient described by Byerlee friction law. That is, in deep conditions, the friction coefficient has nothing to do with the physical properties.

Key words: Byerlee friction law; friction coefficient

0 引言

现在人们用物探资料揭示了大面积内莫氏面的起伏, 并试图把它与大震发生的位置相联系。我们审查了这种对比, 发现其相关性并不是很好。我们认为除了莫氏面的起伏时间不知, 即不知其是否是现代动力源的指标外, 还与 Byerlee 摩擦定律有关。中源和深源地震发生在地壳岩石层以下的地幔区域, 这里的岩石层因高温而软化, 不可能如弹性回跳所述的岩石脆性断裂^[1]。中—深源地震震源体处于更高的温度与围压环境, 两者发震机制可能不同。在中—深源地震成因研究方面, 前人提出了脱水致裂机制、相变失稳机制、剪切熔融机制和反裂隙断层作用机制等假说^[2]。

Amonton 定律认为摩擦强度与正应力成正比,

而摩擦系数与正应力无关 (Scholz, 1990), 后来 Byerlee 大量粗略低围压摩擦实验也与此相符 (Byerlee, 1978)。对干的花岗岩 (摩擦面之间有一层花岗岩粉末模拟断层泥) 在室温条件下的变正应力摩擦实验表明 (Locker 等, 1986), 摩擦系数具有明显的正应力依赖性, 当正应力突然增加 (减小) 时, 摩擦系数就有一个瞬间的响应, 很快减小 (增加), 然后经过一段滑动距离而演变到新的稳定值。Byerlee 摩擦准则和库伦破裂准则 (图 1) 描述了两者的关系。

贝叶利通过大量的岩石破裂实验, 总结出了发生破裂是剪应力和正应力的经验关系:

$$\begin{cases} \tau = 0.85\sigma_n; \sigma_n \leq 200 \text{ MPa} \\ \tau = 50 + 0.6\sigma_n; \sigma_n > 200 \text{ MPa} \end{cases} \quad (1)$$

① 收稿日期: 2016-04-10

作者简介: 郭安宁, 男, 研究员, 硕士生导师, 从事地震预测、构造物理及震害预测的研究工作。E-mail: gan@gssb-gov.cn.

通讯作者: 彭立顺, (1992—), 男, 硕士研究生, 主要从事地震预测、构造物理及震害预测的研究工作。E-mail: 527238528@qq.com.

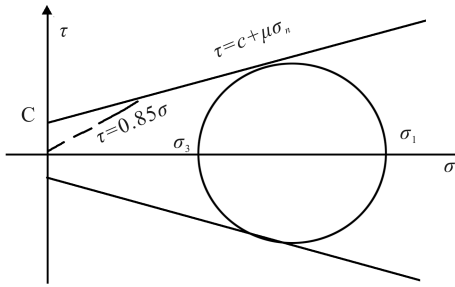


图 1 Byerlee 摩擦定律与库伦破裂准则
Fig.1 Byerlee friction law and Coulomb failure criterion

其中: τ 为剪切力; σ_n 为正应力。

库伦-莫尔准则:

$$\tau = c + \mu\sigma \quad (2)$$

其中: τ 为剪切力; c 为黏滞力; μ 为摩擦系数; σ 为正应力。

Byerlee 摩擦定律实际上是经典的库伦摩擦定律以及 Patton 双线性摩擦强度判据的发展。其最主要的特点在于发现了不同岩石的摩擦强度与正压力之间具有统一的线性回归关系。这一经验公式在温度和填充物质等影响因素方面也还存在着有待进一步研究的问题,但它基本上符合了实际情况,已成为一种比较接近实际而又便于应用的经验关系。在大地震的孕育机制上,郭增建等^[4]指出:在深层大断裂带上,地球介质是很不均匀的,有些断层两侧地壳块体较坚硬,而且断层面上连结较牢固或是粘接较紧密。这样的地段,在其两侧地壳块体相对运动时,会表现出强大的阻力。因此,在那里会产生弹性剪切变形,并积累巨大应力,从而,会发生大地震。而完整岩石的破裂实验表明,岩石破裂前,许多物理性质都有明显的变化。这些物理性质的变化和岩石的膨胀有关,因而提出地震预报的扩容理论。因为高温高压对岩石的物理性质有一定的改变,借此我们推测在高围压的情况下,断层处应力不断积累。Byer-lee 定律的形式和其中的系数与岩石种类接触面的粗糙度无关(除断层面上有蛭石和伊利石填充外),不同岩石的摩擦面摩擦系数具有统一的数值。

在地球深部,岩体处于周围岩体的包围之中,不仅同时受轴压和围压的作用,而且其变形还受到强烈的约束。以地震发震过程为例,在断层两边的岩体在受到周围岩体的回弹作用同时,还受到前方岩体的阻挡。二者分别反映了“轴压”和“围压”的约束

作用。地球内部的这种强约束状态对于岩石失稳型式的影响尤为明显。文献^[4]指出:地壳内的局部高温区可以形成热应力而有利于孕育地震。当温度和围压很高时,主要使岩石的物理性质发生变化。当围压升高时,抑制的岩石的张性破裂,使破裂向剪切的形式过度。而在莫氏面处压强高达 1000 MPa 以上,温度为 400~1000 °C,所以我们可知深层发震断层处于闭合状态,滑动区扩展为剪切形式。图 1 很好的验证了在高压(接近莫氏面附近的压力)的情况下,Byerlee 摩擦定律与完整岩石破裂的库伦破裂准则有很好的契合度,即摩擦强度与破裂强度相一致。所以我们推测在莫氏面处所有岩类摩擦面的摩擦系数为同一数值,与摩擦面的岩性无关。

综合前人的实验和研究结果和笔者的分析,可以认为地球深部岩性的摩擦系数与岩石的物性无关。岩石的 Byerlee 摩擦破坏(剪切破坏)与库伦破裂准则相一致,即可以理解为各向同性。本文指出这一点希望说明,如果莫氏面是岩石中分类不同的界面(有高温物质填充除外),则在大区域应力作用下其破坏行为与界面起伏情况关系不大。所以对于莫氏面起伏和岩性与大震发生位置的关系不宜简单对待,还应进一步研究其他条件。

参考文献

[1] 陆坤权,曹则贤,厚美瑛,等.论地震发生机制[J].物理学报,2014,63(21):219101.
[2] 吴晓娟,秦四清,薛雷,等.基于震例探讨大地震的物理机制[J].地球物理学报,2016,59(10):3696-3710.
[3] 郭增建,秦保燕,徐文耀,等.震源孕育模式的初步讨论[J].地球物理学报,1973,16(01):43-48.
[4] 郭安宁,陈家超,中国大震问题[M].北京:地震出版社,2002.