



石耀霖, 广西桂林人, 中国科学院院士, 发展中国家科学院(第三世界科学院)院士, 地球物理学家, 现任中国科学院大学地球科学学院、中国科学院计算地球动力学实验室教授, 曾任中国地球物理学会副理事长, 中国地震学会副理事长等。电子信箱: shiyj@ucas.ac.cn。

卷首语 Foreword

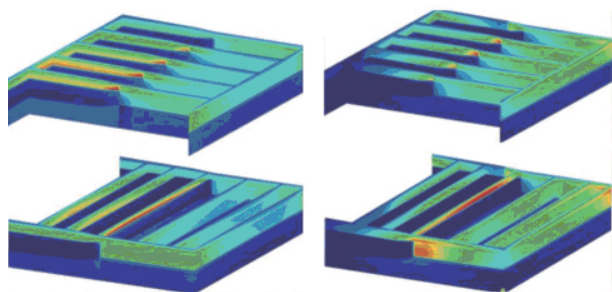
科技导报 2013, 31(12)

我对芦山地震的一些认识

认识 2013 年 4 月 20 日芦山发生的大地震, 不妨先从汶川地震谈起。汶川地震为什么会发生, 常见的解释是: 印度洋板块与欧亚板块碰撞, 造成青藏高原快速隆升和地下物质向东缓慢流动; 流动物质在龙门山向东挤压, 遇到四川盆地刚性地块阻挡, 从而造成构造应力能量长期积累。这些能量的释放, 最终导致了汶川地震的发生。

这种说法对不对? 应该说没有错误, 但是解释得还十分不够。但是, 为什么汶川地震发生在龙门山之下, 而不是更东或更西? 为什么汶川地震发生在十余千米深的上地壳底部, 而不是更深或更浅? 为什么汶川地震西南段以逆冲为主, 而东北端为右旋走滑? 要回答这一系列问题, 仅仅给出上面那样定性的说法是远远不够的, 还需要定量的数值模拟予以解释。我们在此方向上曾经撰文做出了进一步的解释^[1-3]。

图 1 是我们用三维黏弹性模型对汶川地震进行数值模拟的结果。为什么要采用黏弹性模型进行数值模拟? 因为在短期载荷下(例如地震波传播), 岩石圈的表现是弹性的。但是, 岩石在高温高压下地质历史缓慢的运动运动会发生柔性变形——例如人们可以看到的褶皱; 因此, 必须采用黏弹性模型来进行数值模拟——如果采用理想弹性模型进行模拟, 所得的结果就会与实际情况大相径庭。



(a) 垂直于断层走向的压应力增长率
(b) 沿断层走向的剪应力增长率

图 1 汶川地震三维黏弹性模型数值模拟结果

在受到基于 GPS 观测给定的边界条件作用下, 三维黏弹性的四川盆地达到准稳态时的应力增长速率。图 1(a)中, 红色为高应力增长率, 蓝色为低应力增长率。四川盆地应力增长率低, 无大地震; 高原一侧应力增长率高, 有一些大地震; 最高的应力增长率出现在龙门山下 10~20km 的上地壳底部。压应力最大在龙门山断裂带西南段, 因此, 这里发生了逆掩断层; 剪应力最大发生在龙门山断裂带东北段, 因此, 这里的右旋走滑断层渐渐发育。

在以上数值模拟中, 我们输入的是基于观测的结构模型数据, 基于观测和实验室实验的物性数据, 以及基于地表 GPS 观测的边界条件。不知道的是深部边界条件, 对此我们只能做一些简化的假定; 我们同时也不知道初始应力条件, 因而只能从假定的零应力出发计算; 另外也不知道边界的历史, 故只能假定开始运动后边界为匀速运动。由此模拟我们又得到了什么、发现了什么呢? 得到了数百年后脱离暂态影响后的准稳态应力变化率,

发现了该应力增长率与地震活动性有相关关系。我们得不到的是应力的绝对值。因此, 我们也无法预测究竟哪里最危险。因为应力增长率高的地方, 模型开始计算时刻的初始应力未必一定最高。只知道应力的增量, 不知道应力的初始值, 就无法知道应力的绝对值, 就无法确定后续地震最可能发生的时间、地点和规模。如果我们对这些区域地应力的状况有更加充分的了解, 就有可能对更具体的地震危险性作出估计。

汶川地震震级巨大, 断裂带长达近 300km, 几乎整个龙门山断裂带都发生了破裂, 但是西南段的约 100km 却没有破裂。这一段落最终会破裂吗? 破裂的规模会有多大? 究竟什么时候会破裂? 破裂的规模上限是以上问题中困难程度较低的问题。就震级来说, 由于震级和断层长度存在一定的经验关系, 因此, 这段 100km 左右的段落即使全部破裂, 震级也仅仅可能略大于 M_s 7.0 级(也可能是几个接近 M_s 7.0 级的地震破坏陆续释放积累的能量)。龙门山西南端一段没有地震破裂, 但这一段落也是压应力积累率最高的部位之一; 而且汶川地震的发生, 使这一段落发生类似机制的逆掩断层的地震危险性更加增加了^[4]。因此, 龙门山西南端发生破裂也就是必然的了。

图 2^[4]是汶川大地震对类似龙门山断层走向和力学性质的断裂造成的震库伦应力变化图。它表示的是: 汶川大地震后, 如果一个地方存在类似汶川地震的

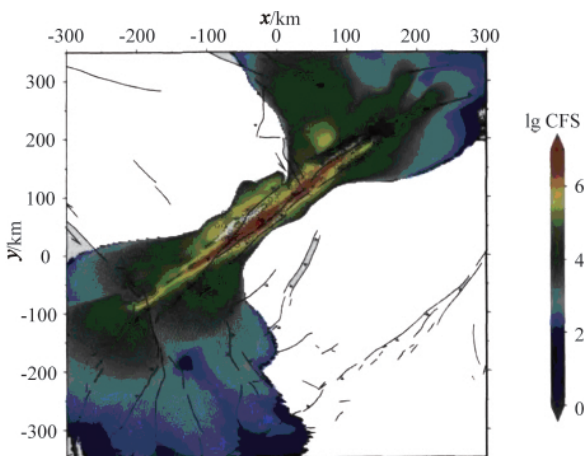


图 2 汶川大地震对类似龙门山断层走向和力学性质的断裂造成的震库伦应力变化