

(翻译件)

2008 汶川地震造成应力变化，增加四川盆地的风险

作者：汤姆·帕森斯，纪晨，埃瑞克·科比

(本文写于 2008 年 5 月 16 日，英国《自然》杂志 6 月 19 日决定刊载，7 月 6 日刊载)。

2008 年 5 月 12 日，汶川 7.9 级灾难性的大地震袭击了青藏高原的东部边缘，造成中国四川盆地西部多个大城市的房屋倒塌以及大量人员死亡。在如此大的地震之后，地壳中的应力调整常常会带来破坏性的地震。5 月 12 日的主震造成了龙门山和四川盆地联结处多达 9 米的移动，并揭示了该地区复杂的走滑和冲断运动。四川盆地及周边也交错有其它活跃的走滑带和冲断层。本文中，我们采用 5.12 断层模型进行同震应力变化的计算。快速描绘此应力变化的地图有助于确定可能产生大余震的断层带。

从全球范围内看，像袭击四川西部的 7.9 级地震能触发 7 级以上的余震。受影响人数较大的最近的例子是 1999 年在土耳其依兹米特 (Izmit) 和迪兹杰 (Duzce) 发生的 7.4 和 7.1 级的地震。这些地震的应力传递分析进行得太迟了，没起到减缓地震灾害的作用。不过，2004 年苏门答腊大地震之后，相关的技术分析就更成功了，当时就计算出三个月后在一个受主震应力影响的地区会发生 8.7 级的地震。就 2008 年的 5.12 地震而言，因为没有准确的参数，早期的关于四川盆地断裂带的同震应力传递计算是根据大范围的参数估计值来进行的。使用这种方式可以很快描绘出断裂可能性大的断层 (图 1)，并能测算静态应力传递对地震风险的影响。

5.12 地震看起来已经造成了北川断层（与汶川断层一起标注在图 1）沿龙门山的断裂（图 1）。右旋的彭灌斜向断层（图 1）与北川断层平行，在写作该文时，还不清楚该断层是否与主震断裂直接相关；如果不相关，则不能有意义地计算断层表面的应力变化，因为离断裂带很近。根据计算，库伦破裂应力在汶川断层（图 1a）的主震断裂带南部上升了 0.1 兆帕。活跃的右旋走滑大邑断层与主震断裂带平行，因此，根据计算，其库伦应力减弱了（图 1c）。断裂带西北的逆冲断层，包括虎牙、青川、岷江地带（图 1d-f），都显示库伦应力减弱。

四川盆地下面有一系列与前岭平行的逆冲断层（图 1）。这些断层的特点从西向东有改变；靠近前岭，断层向西北倾斜，还包括有一些右旋走滑。而在盆地东部，断层略向东倾斜。靠近雅安（图 1h）的逆冲断层位于主震断裂带南部，根据计算，其库伦应力有所增强。同样地，根据计算，靠近成都东南（图 1k）和熊坡（图 1j）的逆冲断层应力增强了。根据计算，盆地东部的应力增加值小得多（0.01 兆帕），因为离主震较远。根据计算，成都（图 1g）近东的逆冲断层应力减弱（-0.01 兆帕）。

龙门山断块的北部和南部是左旋走滑断层。左旋鲜水河断层西北向撞击其与汶川断层的联结部，根据计算，库伦应力在距联结部（图 1l）125 公里的范围内有所增强。联结部南面的左旋错动被石棉断层（图 1m）吸收。这个部分的库伦计算结果显示可以忽略不计。同样地，龙门山地区东北部的左旋秦岭断层显示应力变化很小。不过，主震断裂带西北的左旋昆仑断层（图 1i）显示应力增强。由此看来，应力增

强的大多数断层都集中在四川盆地南部以及四川盆地与龙门山脉的边缘地带，例外的是四川盆地北部和南部的左旋昆仑断层和鲜水河断层。

地震发生后的前 25 天，余震（大于或等于 4 级）主要是在主震断裂带（图 1）。在这个期间，最大的余震有两次，都是 6 级。余震强度—频率分布（图 1）显示在 5-6.5 级内潜在的地震矩不足，尽管变数很高，发生的次数很小。在全球范围内，大于 7 级的地震所带来的静态应力变化与距主震 200-250 公里以外的地震活动度有关。

2008 年 5 月 12 日袭击四川地区东部的 7.9 级地震造成了严重的损失，它的遗留影响包括近期可能出现大余震，因为它提高了四川盆地及周边重要断层的应力。鉴于全世界已经出现过主震和余震相隔几年甚至几十年的情况，找到未来可能的断裂带对减少地震损失是非常有用的。

图 1 研究区域地图，汶川地震后四川盆地的大部分地区和其它断层的应力变化，以及余震数据。地图上断层标注为 a-m，矩形框显示大部分断层的应力变化；每根 x 轴上的 0 代表断层的南部。应力上升（大于 0.01 兆帕）在几秒到几十年的时间里，将断层变为断裂。震中标注为白色星形，余震（大于或等于 4 级）显示为白色的圆圈，断裂面显示为黄色矩形，对应 a，即北川和汶川断层。汶川断层往断裂带南面延伸，显示应力增强（数据框 a）。是否涉及彭灌断层，即 b，尚不确定，因此，未标注应力变化数据。标注出的大多数断层都有应力增强（红色），除 c 大邑，d 虎牙，e 青川，f 岷江，g 成都东面的逆冲（蓝色阴影）。注意不同地区的色阶不同。雅安逆冲 h，昆仑断层 i，熊坡逆冲 j，成都东南逆冲 k，鲜水河断层 l 都显示出应力增强。石棉断层 m 的应力变化可以忽略不计，因此，没有标注任何数据。地图上黄色的圆圈表示人口集中地区。地图中的小插入是 2008 年 6 月 5 日的余震强度—频率分布情况。