

2013 年 4 月 20 日四川芦山 7.0 级地震 震源破裂特征

徐彦

云南省地震局监测中心, 昆明, 650224

龙门山断裂是青藏高原东南滑移物质在稳定的四川盆地的阻挡下形成的一逆冲断裂。横跨龙门山断裂, 在短短 100 公里的水平距离内海拔由 700 米上升到 6000 多米。研究^[1,2]认为是青藏高原下地壳的塑性流动塑造了龙门山断裂这一地球上高差最大的断裂之一。虽然地表 GPS 测量^[3,4]显示在龙门山断裂处的地壳缩短速率小于 3mm/yr, 而青藏高原形成力源, 印度板块, 的北向移动速率为 40mm/yr。Chen^[3]等在拉萨测量到的东向地表位移速率仍有 19.5mm/yr。这一显著的速率差异表明在龙门山断裂处青藏高原下地壳物质的东向流动速率被以塑性变形的形式储存了起来。

近年来, 2008 年 5 月 12 日汶川 8.0 级地震发生在龙门山断裂的中北段, 而 2013 年 4 月 20 日芦山 7.0 级地震则位于龙门山断裂的南段。我们采用运用于 2008 年汶川地震^[5]的反投影远震 P 波的方法研究了 2013 年 4 月 20 日的芦山 7.0 级地震震源破裂。研究结果显示 2013 年芦山 7.0 级地震破裂长度约为 20 公里, 震源破裂时间约为 26 秒。破裂的头 4 秒, 破裂沿北东走向的龙门山断裂在震中两侧进行, 主要的破裂点在震中以北方向。5 至 26 秒为芦山地震最大能量释放时段, 而这一阶段的芦山地震破裂是单侧破裂, 最大能量释放点位于震中以北。此外, 我们还对比了 2013 年芦山地震和 2008 年汶川地震的震源破裂特征。

我们运用反投影远震 P 波的方法研究了中心频率为 1Hz 的芦山地震震源频率特征。在进行反投影时, 我们考虑一均匀的四维空间(经度, 纬度, 深度, 时间)围绕在震源和发震时刻周围。每一网格点都是一可能的震源位置。对每一网格点, 我们计算其与每一台站相对应的理论 P 波到时。然后对波

形进行叠加。在叠加后, 叠加值被反投影到与之相对应的网格点上。最大能量所在的时间和空间区域为破裂的区域。

我们从 IRIS (www.iris.edu/data) 下载了全球 284 条宽频带垂直向记录。为避免物质较为不均匀的地壳、上地幔和核幔边界带来的波形复杂性, 我们选取了震中距在 30°—95° 之间的台站。这一震中距的地震波主要在介质相对均匀的下地幔中传播, 因此最小化了传播路径上造成的影响。在得到波形后, 我们对波形进行逐一检查, 去除了波形记录不好的台站。之后, 我们运用台站响应函数 (ARF)^[5]对经过波形检查的台站进行挑选, 以得到组合最好的台站来降低由于全球台站分布不均匀造成的失真。

我们把通过波形检查和台站响应函数挑选的 74 条记录用带宽 0.67—1.33Hz 的 Butterworth 滤波器进行滤波, 之后采用 2s 窗长 1s 滑动的滑动窗和 4 阶方根叠加法进行叠加。叠加后的值被反投影到相应的网格点和相应的时间点上。

我们得到 2013 年 4 月 20 日的芦山地震能量中心频率在 1Hz 的震源破裂时间约为 26 秒。芦山地震能量主要是通过两个子事件来释放的, 第一次能量释放是在震后 4 秒, 主要能量释放的位置位于震中以北。虽然此次能量释放的主要区域位于震中以北, 但在震中西南方也同样有一面积较小, 能量值相对较低的能量释放区域。我们认为在芦山地震的开始阶段(0—4 秒)震源的破裂是向震中位置两侧进行的。芦山地震的第二子事件是在震后 12 秒, 其能量释放区域和第一次能量释放区域相同。不同之处在于此次能量释放是芦山地震的最大能量释放。之后, 地震能量逐渐衰减。相比第一个子事件, 芦山地震的第二个子事件是单侧破裂, 破裂向震中以北方向发展。对比反投影得到的芦山地震能量释

放区域和震中位置,我们可以看到该次地震的主要的能量释放区域和震中位置并不重叠。芦山地震的两次能量释放阶段的主要能量释放区域都位于震中以北。芦山地震 6 次 5 级以上余震主要分布在主震震源破裂区域。反投影得到的能量中心频率为 1Hz 的芦山地震的整个震源破裂区域约为 20 公里。

对比相同方法得到的发生在同一断裂带上的 2008 年汶川地震,我们可以发现龙门山断裂带上的 2008 年汶川地震和 2013 年芦山地震有着类似的震源破裂特征:一、两次地震的震源破裂都是沿北东走向的龙门山断裂发展;二、最大能量释放区域并没有位于震中位置;三、两次地震的能量释放都是通过多次子事件来完成的,2013 年芦山地震通过两个子事件来释放能量。而 2008 年的汶川地震含有 3 个子事件。且第二次子事件都是最大能量释放事件。但两次地震也有明显的不同,那就是 2008 年的汶川地震发生在龙门山后山逆断层上,而 2013 年的芦山地震的发震断层为龙门山前主边界逆断层。但这两条断裂都属于龙门山断裂带且都形成于古生代至中生代时期。两次地震的第二个不同之处在于 2008 年汶川地震为单侧破裂。而 2013 年的芦山地震的开始阶段,0—4 秒,震源是沿龙门山断裂向两侧发展的。而 5—26 秒的芦山地震破裂时段震源是单侧破裂。

Xu 等运用反投影得到的 2008 年汶川地震的总的破裂区域近 300 公里范围。当我们把 2008 年汶川地震和 2013 年芦山地震震源破裂区域进行对比时,我们可以明显的发现 2013 年的芦山地震的破裂区域紧邻 2008 年的汶川地震破裂区域。2008 年的汶川地震破裂的是龙门山断裂的北东段,而 2013 年的芦山地震是在 2008 年的汶川地震破裂区域的西南端发展的。结合 1976 年以来龙门山断裂带上 Mw6.0 级以上地震分布情况,我们可以发现 1976

年以来的龙门山断裂带上的地震主要发生在其北东段。龙门山断裂带上的历史地震也集中在断裂的北东段,如 1657 年的汶川 6.5 级地震,1658 年的北川 6.2 级地震和 1970 年的大邑 6.2 级地震。而本次芦山地震的发震区域,龙门山断裂的西南段,在近几百年的时间内没有大地震发生。就破裂长度而言,2008 年的汶川和 2013 年的芦山两个地震的总破裂长度占了整个龙门山断裂带长度的三分之二。没有发生破裂的龙门山断裂带剩余部分的地震危险性较高。

我们运用反投影远震 P 波的方法得到了 2013 年芦山地震震源破裂过程。研究显示 2013 年芦山地震能量中心频率为 1Hz 的震源破裂时间约为 26 秒,破裂长度约为 20 公里,破裂主要沿北东走向的龙门山断裂带发展。芦山地震的能量释放主要通过两次子事件来进行,第一次能量释放在震后 4 秒,第二次能量释放在震后 12 秒。第二次能量释放为芦山地震的最大能量释放。研究结果显示芦山地震的破裂开始阶段破裂在震中两侧进行,主要能量释放区域在震中位置以北。之后,芦山地震的破裂主要位于震中以北区域。对比发生在同一断裂带并采用相同研究方法得到的 2008 年汶川地震结果,我们发现 2013 年芦山地震和 2008 年汶川地震有三点相似之处,即,破裂主要沿北东走向的龙门山断裂带发展;最大能量释放区域没有位于震中;能量都是通过多次子事件来释放的,且第二次能量释放是最大能量释放。对比两次地震破裂区域,我们可以看出芦山地震的破裂区域是在 2008 年汶川地震破裂区域的西南端发展的。两次地震的破裂区域占了整个龙门山断裂带的三分之二。而 2013 年的芦山地震发震断层,龙门山断裂南端,近几百年时间内没有大地震的发生。