

本刊记者/李娜

# 争议“芦山地震是否汶川地震余震” 意义何在

又是地震,又是龙门山断裂带。

2008年汶川地震的阴霾还未散尽,四川省雅安市芦山县又遭重创。4月20日8:02,芦山爆发7.0级地震,截至4月24日14:30已致196人死亡,万人受伤,大量房屋、道路倒塌损毁,种种场面不禁勾起人们对于5年前汶川强震的种种回忆。芦山地震与汶川地震,除了同为带给人类灾难的地球内部活动以外,两者的关联还体现在另一问题上:同样发生在龙门山断裂带的芦山地震与汶川地震有关吗?有学者提出“芦山地震是汶川地震强余震”的观点,很快在学术界引起争议。

芦山地震后,中国科学院院士、中国地震局地球物理研究所研究员**陈运泰**旗帜鲜明地主张,芦山地震是汶川地震迄今发生的最强余震。与陈运泰持相同观点的还有美国地质勘探局地球物理学家**杰西卡·特纳**、日本东京大学地震研究所教授**加藤照之**。不过,中国地震台网中心地震预报部副主任**蒋海昆**,四川省地震局工程地震研究院院长**周荣军**,加拿大蒙特利尔大学工学院教授、中国地质科学院地质研究所客座研究员**嵇少丞**等公开表示,芦山地震并非汶川地震余震,而是一次独立的地震。另外还有不少学者认为,讨论芦山地震是否汶川地震余震的意义不大,不如关注今后地震会在什么地区发生。《科技导报》通过采访发现,芦山地震是否汶川地震余震的争论,不仅具有学术价值,而且对强调余震监测有一定意义,甚至还延伸到了对地震问题研究方向的探讨。

## 陈运泰:芦山地震系主震“亏空区”,级别符合“巴特定律”

“从震源位置、震源机制和震级大小看,芦山地震是2008年汶川地震迄今发生的最强余震”,陈运泰告诉《科技导报》,这证实了他根据之前的一些工作——他与同事和学生汶川大地震发生前,对龙

门山地震带的大量地震重新精确定位与汶川大地震刚发生后对其破裂过程进行反演得到的结果进行综合分析——得到的结论,即:汶川大地震是一次既向东北方向又向西南方向破裂、但以向东北方向破裂为主的不对称双侧破裂,因为向东北方向破裂很强,所以表观上显示出似乎只向东北方向的单侧破裂。汶川大地震时并非没有向西南方向的破裂,而是破裂了一小段,但很快就遇到了障碍,留下了滑动量的“亏空区”。当时他根据“亏空区”的大小及位置,明确指出位于汶川西南100千米的宝兴—小金是可能发生7.0级左右强余震的位置。

另外,“汶川地震发生后到芦山地震发生前,一直没有发生特别大的余震,都是5~6级左右,最大的一次余震是2008年5月25日发生的6.4级地震,这是不符合‘巴特定律’的。因此我当时特别强调,要着重注意汶川地震的晚期强余震,晚期强余震可以拖好几年才发生。”陈运泰表示,“巴特定律”是地震学中一条著名的定律,即最大余震的震级比主震小1.2级。汶川地震按“面波震级”衡量是8.0级,不过按照现在国际普遍采用的震级标度“矩震级”来衡量是7.9级。按照“巴特定律”计算,汶川地震最大的强余震应该在“矩震级”6.7级左右,芦山地震与汶川地震的震级差正好符合“巴特定律”——据美国地质调查局的测定,芦山地震的“矩震级”是6.6级,而陈运泰研究组的测定结果是“矩震级”6.7~6.8级,相差正好在1.2级左右。不过陈运泰也提醒说,“巴特定律”离散相当大,误差高达±0.3级,如果计算最高误差,汶川地震触发的最大余震级别有可能达到“矩震级”7.0级,所以并不能完全排除再发生与芦山地震震级相当的强余震的危险性,仍需继续加强监测与研究。

## 反对“余震说”4条论据遭驳

《科技导报》通过多方了解发现,反对“芦山地震是汶川地震的余震”观点的论据,主要集中在以下4条。第一,芦山地震震中距离汶川85千米,并不在汶川地震产生的同震破裂延展的同一区域内。具体来说,两次地震都发生在龙门山断裂带,但长达470千米的龙门山断裂带包括4条几乎平行的断裂,汶川地震发生在第2条断裂并向北东方向延伸,芦山地震发生在第4条断裂往西南方向延伸,从地源位置和走向来看是两次独立地震;第二,地震学理论中有一个大森(Omori)定律可以用来检验余震,这个公式表明一次地震触发的系列余震其能量是逐渐衰减的,汶川地震之前的数千次余震都不及芦山地震的震级高,因此5年后爆发强余震的可能性不大。第三,中国科学院院士、中国科学院地质与地球物理研究所教授**滕吉文**在接受《科技导报》采访时提出一个在不少学者中颇具代表性的论据:2008年汶川地震发生时,震源区附近介质破裂主要向北东方向延伸,而没有向西南方面延伸,这说明在汶川与西南方向可能有一个阻隔(还有观点认为是断层闭锁,本刊记者注),使得介质破裂无法向西南方向延伸。“龙门山断裂带是一个不均匀体,不同部位可能会积蓄不同的应力,所以很有可能是两次独立的地震”。第四,芦山地震有自己的系列余震,而且据地震前方发回的报道,自芦山地震爆发后,大大小小的余震已经发生了3000余次。

针对上述种种观点,主张余震说的专家在接受《科技导报》采访时进行了回应。

**第一,主震与余震不必要发生在同一条断裂上。**陈运泰指出,地震破裂发生的范围是一个面,而并非一个点。龙门山断裂带是由多条断裂组成的复杂断裂带,2008年汶川地震主要是龙门山断裂带上

3条主干断裂——龙门山后山断裂即茂县—汶川断裂、映秀—北川断裂，以及彭县—灌县断裂错动共同作用的结果，其中以中间一条即映秀—北川断裂为主。汶川地震发生后，大量余震就分布在不同断裂带及其间。即使芦山地震不发生在映秀—北川断裂上，并也不能说明芦山地震不是汶川地震的余震。

**第二，大森定律未必适用于对芦山地震的判断。**中国科学院大学地球科学学院教授史保平告诉《科技导报》，判别一次地震是否是上一次主震的余震，主要看相关区域当前地震发生频度（年平均次数）是否恢复到主震爆发之前相当长时段的正常水平（即背景频度），修正的大森定律正是基于这个背景频次而提出的。从目前来看，因为用仪器记录地震的历史较短，龙门山断裂带背景频度并不是特别清楚，所以大森定律可能并不见得适用。

**第三，介质破裂被阻隔只是暂时，库伦应力是无法阻隔的。**陈运泰认为，介质破裂被阻隔的说法无异于承认了雅安芦山地震是汶川大地震的余震。因为所谓余震，就是主震破裂过程中遇到了一时不能克服的“阻隔”，近代地震学中称作“障碍体”，“障碍体”的延时破裂就是余震。

史保平还告诉《科技导报》，地震是由于地球内部库伦应力变化而产生的，强震发生前，断裂带的库伦应力不断积累，逐渐发展达到临界状态时，震源介质内所积累的巨大形变能量以地震波的形式瞬间释放，并传播至地表发生强地面震动，且在地表产生一系列的破坏和表面破裂。而库伦应力的传播（动态）和传递（静态）是很难被阻隔的，因为应力波或静态应力扰动可以传递很远，除非地下的介质为流体或刚性体，前者不能承受剪切形变，而后者可以阻止应力传递。但是从地震研究的常识来看，没有任何地球物理证据证明震源区域地壳介质是纯流体或刚性体，而都应是一般的弹性介质（虽然我们不排除空隙流体的存在），从而不会阻隔应力传递。

至于断层闭锁的观点，史保平认为，所谓断层闭锁只是一个相对概念，并不是指断层绝对静止不动了，它其实还在缓慢地移动，这一点可以由速率和状态所依赖的摩擦定律得到完整的描述，只是现有仪器监测不到。随着断层内剪切应力积累到临界值（摩擦力），断层很有可能发生突发的运动和断裂，也就是我们所说的宏观地震事件。

**第四，强余震常常有自己的一套系列**

**余震。**陈运泰指出，按照地震发生的规律，大地震的强余震常常又“自成一套”，还有自己的一套余震序列，这在许多地震中早已司空见惯。

### 震区恢复期是否结束 是余震判断的重要背景因素

2008年汶川地震后不久，陈运泰曾公开发出警告：汶川地震的晚期强余震会在人们将其淡忘时突然来袭，要特别加强强余震的监测。（《文汇报》2008.05.23“中科院院士陈运泰警告：晚期强余震或突然来袭”）。如果“芦山地震是汶川地震的余震”观点成立，那么芦山地震的爆发实在令人抱憾。通过对这个余震话题的争议，我们不难发现：一个发震区域的恢复期结束之前，对余震监测不能放松是值得强调的。

史保平在前文提到，判别一次地震是否是上一次主震的余震，主要看相关区域当前地震发生频度（年平均次数）是否恢复到主震爆发之前相当长时段的正常水平（即背景频度）。史保平认为，可以确定的是，根据Dieterich所提出的余震触发机制（从物理上量化阐述大森定律），龙门山断裂带周边地区地震发生频度远没有恢复到2008年汶川地震发生前的正常水平。汶川震区的恢复期有可能是几十年甚至上百年，期间都有可能发生余震。

史保平告诉《科技导报》，地震断层的时间演化至少包括了断层的闭锁期、自加速期和震后持续变形和震后滑移。而区域内大震后，余震的持续时间对应了自加速期，并同区域内剪切应力的加载速率成反比。因此，像昆仑山大地震后，余震发生率小，能量衰减非常快，可能4~5年就恢复震前地震活动性，但像2008年汶川发生的强震，由于区域剪应力加载速率非常小，从而恢复期会比较长，可能需要几十到上百年。“就像唐山大地震，虽然是1976年爆发的，但我们仍认为这场 $M_s 7.8$ 的强震序列至今恢复期还没有完全结束，现在唐山周边地区发生的地震都可归于1976年唐山大地震的余震”。

### 不同地震关联度超想象， 应将地球看作动力学系统

虽然不少专家认为，与其讨论芦山地震是不是汶川地震的余震，不如关注未来哪些地区可能还会发生地震更加重要，一些学者还特别指出，未来应该密切关注康定地区，但史保平倒是更愿意深入探讨前

者。他认为这涉及到地震研究的方向问题。从前文支持芦山地震为独立地震的论据来看，两次地震表面上的关联被作为判断两者关系的依据了。而史保平则主张，将地球作为一个动力学系统来进行研究，“国际很多地震学专家都主张从地球的物理机制来研究地震，而且他们发现地震与地震之间的关联远比我们想象得要密切”。

史保平告诉《科技导报》，一次大地震发生后会造成地球内部应力的重新分布，比如美国知名地震学家帕尔森（Tom Parsons）在*Nature*杂志发表文章称，2008年汶川地震发生后，雅安地区的库伦应力增加了，与此同时科学家还发现，1979年曾发生松潘—平武地震的松潘地区，因为汶川地震的缘故，库伦应力反而被卸载了。不仅相近地区会出现库伦应力的加载和卸载，即使相隔几千千米，不同地震之间也可能会有关联。

日裔美国著名地震学家金森博雄（H. Kanamori）2004年曾经在*Reports on Progress in Physics*杂志发表一篇评述文章介绍说，2002年美国阿拉斯加发生“矩震级”7.9级地震，当天就触发了美国蒙塔纳州的数百个余震，而两地之间的距离是3000千米。1992年，美国加州兰德斯发生7.3级地震，余震在1500千米外被触发，这个地方地热、火山活动较多，兰德斯地震发生后，该区地震发生频率提升为原来的10倍。史保平认为不能孤立地去看待一次地震，“2013年4月16日，伊朗发生7.8级地震，21日日本本州东南发生地震，虽然相隔几百到上千公里，但我认为这两者可能是有相关联的，从物理机制上看，一个地震对另一个地震有静态触发和动态触发之分，伊朗地震形成的地震面波通过介质进行远距离传播，可能改变日本震区库伦应力场，从而可能触发了日本地震”。

当前，国际地震学界日渐关注地震事件之间的关联，注重将地球作为一个动力系统，通过地球内部的物理过程来研究地震问题。正如滕吉文院士对《科技导报》所说，对地震的研究，特别是强地震的研究，必须十分重视其深层物理——力学过程和动力学响应，“越过地平线去‘视摸’地震源区及其周边地域的介质与结构的‘脉搏’，探寻地震‘孕育’、发生与发展的介质和结构的深部环境，才是逐步向地震发生时间和地点的短临预测逼近的唯一途径”。■