

由震源组合模式讨论大降水 对地震的促发作用

李海华

(国家地震局兰州地震研究所)

前言 旱涝与地震关系,长期以来为人们所关注,因为它们经常相伴而生,带来灾难。有关这方面记载,我国非常丰富,源远流长。自1966年邢台地震以来,国内在这方面开展了多方探讨,或说旱一震,或说涝一震,还有涝一早一震或旱一涝一震等,颇为活跃。但因旱涝与地震的物理联系还没有弄清楚,致使二者关系多限于现象相关性的讨论。

本文根据我国一系列大震前的旱涝特点,应用“震源孕育的组合模式”〔1〕,分析了水在孕震过程中的作用,提出涝与地震的一种物理联系,即震前大降水(涝)可由调整单元进入震源,并参与调整运动,对孕震起了促发作用。这种作用需要一定的滞后时间,这时破坏性地震危险区的确定和中期预报有一定的意义。

一、震前旱涝的基本特点

1. 我国近年来一系列大震前的旱涝

①1976年7月28日唐山7.8级大震 震前一年即1975年华北干旱。可是该年7月底在唐山及其以南局地下了一场罕见的大暴雨,其位置如图1所示。〔注〕唐山实测雨量为223毫米,其东南的柏各庄为476毫米,七个月后,在暴雨区内的南部小震活跃,其中震级最大的为1976年4月22日大城4.4级地震。

②1976年4月6日内蒙和林格尔6.3级强震 震区于1975年位于华北干旱区中,但在震前二年即1974年7月5日下了一场局地特大暴雨。据报导,〔2〕“暴雨中心就在土默川平原边缘的蛮汉山西坡,经调查估计,暴雨中心降水量有300—600毫米”。显然,这是位于塞外百年不遇的洪涝。半年之后,在暴雨区内小震逐渐活跃。其中最大的是1975年6月24日4.4级地震。由图2可见,该特大暴雨区范围甚小,因而上述现象值得注意。

〔注〕 本文所引用的气象资料及附图凡未注明出处者,均为中央气象局气象台及各地有关气象台提供。

③1976年9月23日宁夏巴音木仁6.2级强震

这次强震位于贺兰山以北，震前一年即1975年8月上旬在贺兰山北麓发生大暴雨及山洪，暴雨位置可见图1。半年之后，即1976年3月在暴雨区北端发生小震群。

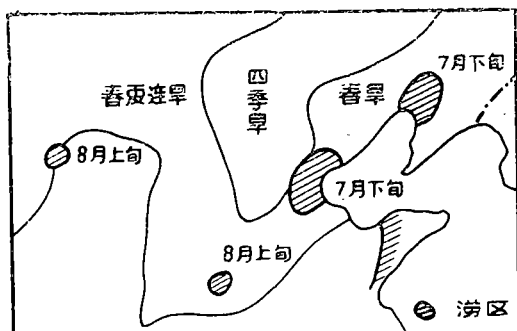


图1 1975年华北地区旱涝分布图

④1976年8月四川松潘7.2级大震

震前于1974年沿松潘，龙门山一带出现旱象。1975年旱情瓦解，松潘一带转为涝区。著名的华西秋雨在该年雨量之多，连阴雨日数之长是罕见的，半年之后，在茂汶、北川附近的小震活动比前期显著增加。

⑤1975年2月4日辽南海城7.3级大震

震前于1972年辽宁及华北为大面积干旱。1973—1974辽南转为多雨。1974年震区一带秋雨特多。十月份雨量为同期均值的三倍（见图3）。营口市打破近七十年记录。到年底发生小震群，其中最大为12月22日蓟窝4.8级地震。

⑥1974年5月11日云南永善7.1级大震

震前于1972年为早年，1973年雨量猛增。图4给出增变量（即73年比72年增加的雨量）的分布，最大增变中心恰沿昭通—盐津一线。盐津及其周围气象站1973年雨量达到建站以来的最高值。几个月后，在筠连、亦良、永善附近，小震活动相继活跃。

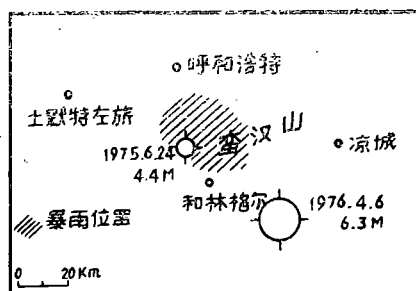


图2 1974.7.5特大暴雨位置

⑦1970年元月5日云南通海7.7级大震

云南宾川气象站赵洪声同志在其“近年来云南破坏性地震前旱涝异常的统计研究”一文中指出：“这次震前于1968年洪涝最重，震区通海附近江川，建水一带为严重洪涝区”（图略）。该文还从统计学角度检验近年来云南 $M \geq 5$ 级地震与震前旱涝的相关程度，结果发现，大多数地震前都有涝。以南华—楚雄断裂带为例，1962年6月24日南华6.2级地震前一年，南华大涝，年雨量为历史最高值。1974年该断裂带又出现洪涝，楚雄打破该县雨量记录，到了次年元月12日楚雄发生5.5级地震。

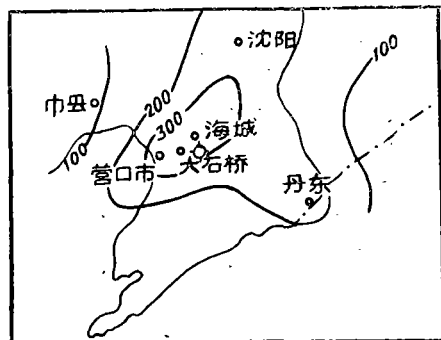


图3 1974.10.降水异常同期均值的百分比

⑧1966年3月邢台地震群 这次震前旱涝大势可追溯到1961年“旱情比较严重”，1962年“华北大面积春夏连旱”，1964年华北普遍偏涝。就在较长时间干旱背景中，1963年8月在华北平原西部、太行山脉东侧出现历史上罕见的特

大洪涝。未来大震恰位于这次洪涝中心。图 5 表明，这次洪涝的最大积水区恰与后来地震群活动区吻合。五个月后，首先在洪水积水区北端的王家井、孟庄附近发生小震群，其中最大震级为 3.2。有意思的是，这群小震如刘正荣同志所指出，不仅是邢台地震的早期前震，也是邢台地震的终止破裂点。

顺便指出，1967 年 3 月 27 日河间 6.7 级强震前一年，震区也恰位于雨涝区^[3]。（图略）

总之，近年来我国华北和西南地区大震频繁，由上述震例可见，震前的旱涝，特别是位于震区的雨涝是较普遍的现象。至于我国东南地区，台湾地震虽多，但大多发生于台湾以东海底，旱涝均已失去意义。东南大陆上近年来仅有两次强震，即 1962 年 3 月 19 日广东河源 6.1 级和 1969 年 7 月 26 日阳江 6.4 级地震。后者震前一年降雨特多，前者与新丰江水库蓄水密切相关。至于我国西北和青藏地区，大震多发生于气象台站稀少的高原山区。但有气象资料可查的一些地震，如 1954 年甘肃山丹 7.2 级大震，1955 年新疆乌恰 7 级大震、1965 年乌鲁木齐 6.6 级强震等在震前一二年内该地降水特多。顺便提及，在降水特少的沙漠地区，强震似乎仅分布于其边缘以及河流注入的地区附近。

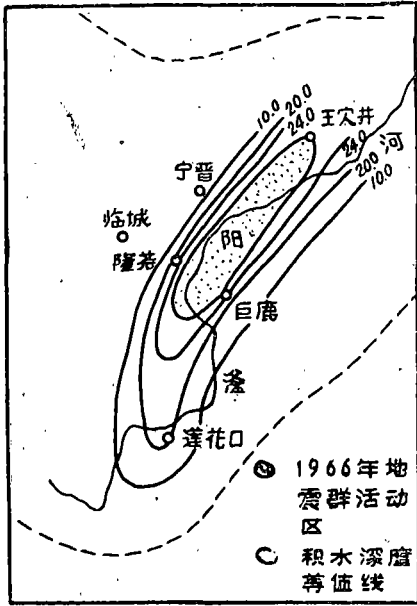


图 5 1966 年邢台地震群活动区和 1963 年洪涝积水区

载，^[3] 1829 年“漳河大水，沿河被淹”。1683 年 11 月 22 日山西原平 7 级大震前“秋雨特

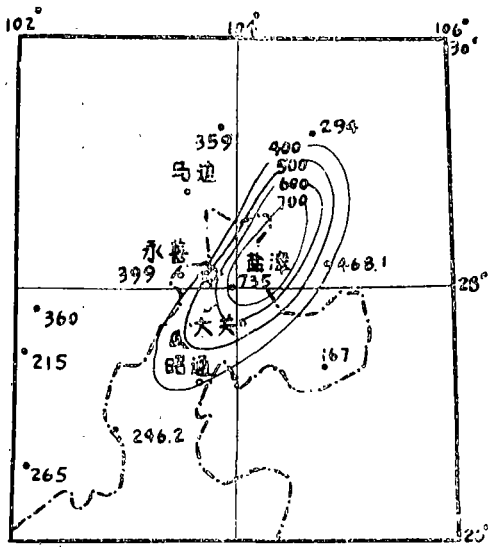


图 4 雨量增量变量 ΔR 分布图 ($\Delta R = R_{71} - R_{72}$)

2. 我国历史上一些大震前的旱涝异常

1668 年 7 月 25 日山东郯城 8.5 级大震，是我国著名大震之一。史书曾用“旱涝频仍，地震奇殃”^[4]描述这次灾难。这次震前数年干旱，到 1667 年转为涝年，如图 6 所示。

1654 年 7 月 21 日甘肃天水 7.5 级大震前一年，据《秦州志》记载：^[4]“五月定西及秦州雷雨暴至，平地水高数丈为害，漂没居民甚多”。1679 年 9 月 2 日河北三河 8 级大震，据记载，^[3] 1678 年震区“六月丁亥，甘霖大沛。”1679 年“四月乙卯甘霖随降，…玉田七月十九日水深丈余。”这是在震前数年干旱之中难得的大降雨事件。1830 年 6 月 12 日河北磁县 7.5 级大震，据记

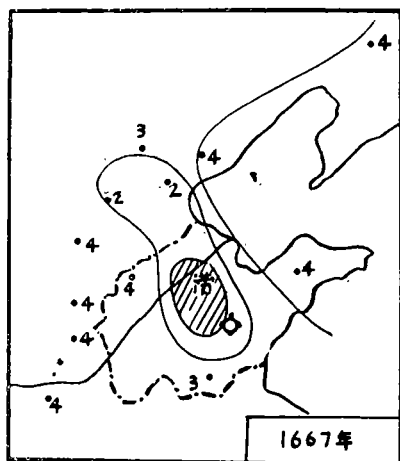


图6 1668年郯城大震前一年旱涝分布图

多”〔3〕。1937年8月1日山东菏泽7级大震前二年“洪涝成灾”〔3〕。1484年1月29日北京居庸关6.8级强震前一年半,“昌平大水,决居庸关城垣楼铺墩台”〔3〕等等。限于篇幅,不再例举。总之,我国历史地震中伴随旱涝的记载是很丰富的。从〈汉书本记〉记载的公元16年3月“长安地震,大雨雹,关东尤甚,深者一丈,竹柏或枯”〔4〕以来,有近两千年的记录可考。但古籍浩繁,较系统的史料还正在继续收集整理,若以近五百年资料比较完全的华北地区为例,也可略见震前旱涝的普遍性。据初步统计表明(地震资料取自文献〔5〕,旱涝史料取自文献〔3〕),冀、鲁、晋、辽及内蒙东部地区1470—1976年近

40次六级以上地震中,震前三年内出现涝占90%以上。

3. 几点初步认识

①我国破坏性地震前三年内有旱涝是一个较普遍的现象,至少对近五百年来华北地区和近年来我国大部分地区是如此。

②若三年内出现旱或涝的气候概率近于1的话,上述事实显然失去意义。由我国旱涝的气候概率分析可知,在华南和长江中下游等湿润地区受涝的概率大而在西北、华北等干旱和半干旱地区受旱的概率高。而我国强震除位于台湾及云南南部等地区外,多分布于干旱和半干旱区,如图7所示。因此在我国主要地震活动区内,旱多于涝。并且由于在旱区内的雨涝是局部的而干旱却往往是大范围的。因而对某个震中区而言,受涝要比受旱的气候概率小,上述震前的雨涝又多为“罕见”、“打破记录”甚或“百年不遇”。因而雨涝与地震的关系似更密切。

③由上述近年来一些震例可见,大震前不但有大降水,而且在大降水几十天到几

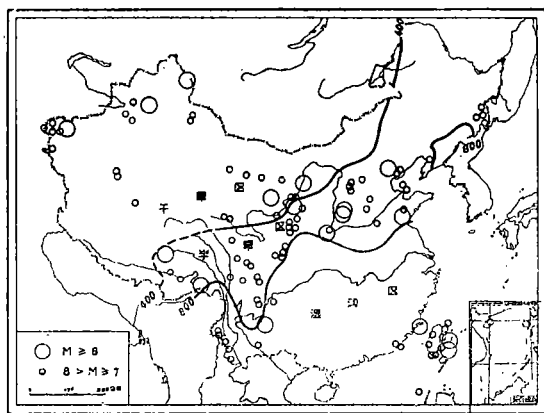


图7 我国年降雨量及地震分布略图

降雨量单位:毫米

个月后, 又在大降水或雨涝积水区内出现小震活跃。大降水—小震—大震这种时间序列特征可能是降水与地震相联系的一个线索。

二、降水对地震的促发作用

1. 降水可由调整单元进入震源 1973年郭增建、秦保燕等人提出“震源孕育组合模式”〔1〕。该模式的贡献在于引入调整单元概念。由于调整单元在剪切应力作用下, 其断层两盘可以蠕滑, 因而把应力调整转移到积累单元端部、并在该处形成压缩区和拉伸区的象限分布, 这就形成对断层面的推挽作用, 并为震时积累单元的快速错动起了让位作用。即随着地震的发生, 拉伸区能够容纳错入的岩体, 而压缩区随之舒展如故, 这时紧邻断层面附近的拉伸区和压缩区随之消失, 应力大体上回跳到孕震之前的状态。瑞德的弹性回跳说, 由于假定介质均匀, 则一旦发生破裂, 破裂于何处终止没有说明。而组合模式着眼于不均匀, 引入调整单元弥补了其不足。正是由于调整单元的存在, 提供了大气降水进入震源的场所。因为根据调整单元的性质, 其介质较破碎, 断层面又较陡立, 震前又已经在蠕动, 这些都很有利于大气降水由此下渗到深处。

由水文地质学可知, 地下水来源有岩浆析出水、岩石结晶脱出水及大气降水。但最主要的还是后者。正是由于构造运动形成褶皱、拗陷和断层、使雨水得以深入地下形成深部水。另外, 水文研究还表明, 雨水向地下的入渗占总损失量的绝大部分, 而损失率 μ 随降水强度 a 的增加如下式所示:〔6〕

$$\mu = Ra^r \quad (1)$$

式中 R , r 为因地而异的常数。

由此可见, 雨强愈大, 入渗量也愈大。大暴雨虽然历时较短, 但因雨强很大、因而有较多的雨水下渗。若雨强虽小但降水历时较长而形成大降水时, 即使稳渗的入渗率较小、但因下渗的时间较长也会有较多的雨水下降。总之, 大降水和调整单元是雨水进入震源的两个有利条件。

2. 水的促发作用机制及其对调整单元的作用 根据哈伯特—鲁比有效应力理论和库仑—摩尔剪切破坏理论〔7〕, 对组合模式中的调整单元而言, 显然有

$$\tau = (s - p) \tan \varphi \quad (2)$$

即当流体压力 P 增高而趋近于正应力 s 时, 断层面上抗滑阻力 τ 趋于零。因而在构造应力作用下即可造成断层滑动, 亦即调整单元的调整运动。实际上, 由于调整单元内部不均匀性, 其中含有小阻塞, 调整运动在克服小阻塞过程中常表现为小震活动。前已述及, 由于调整单元的推挽作用而在震源形成挤压或拉伸的象限分布, 其强度和空间范围逐渐加大, 使孕震区逐渐进入一种缺水或半干燥状态, 引张区由于裂隙扩大而不饱和, 压缩区因扩容也变为不饱和。这种过程在早期还不显著的话, 那么到孕震晚期, 由于过程进行加速, 从而使上述缺水的程度和范围愈来愈大。这时岩体孔隙水压愈来愈低, 导致岩体抗剪能力逐渐增强, 因而矛盾向相反方向转化, 即调整运动受阻乃至不能继续进行。如果在这前后适逢有大降水落在调整单元上, 水从调整单元破碎带向深部的垂直输送毕竟要比邻区水平方向的补充快得多。调整单元得水后, 除物理化学作用降低岩石强度外, 还使孔隙液压上升, 超过临介液压后, 断层蠕动“复活”, 小震重新活跃。这过

程已为兰杰利油田试验所证实^[8]。显然,这过程是需要时间的,我们把大降水到以小震活跃为标志的断层蠕动复活这段时间命之为 Δt_1 。调整单元得水“复活”后,可以更快地把应力转移到积累单元,使震源的不稳定过程加强直到发震,这段时间命之为 Δt_2 。这就是为什么从大降水到发生大震总是滞后一段时间 Δt ,显然

$$\Delta t = \Delta t_1 + \Delta t_2, \quad (3)$$

由前述震例可知, Δt 约为几个月到一、二年。

3. 与注水地震和水库地震相比较 1970年日本在松代地震断层端部,实验了深井注水诱发地震,^[9]结果表明,三次地震活动的峰值分别与三次注水相对应,地震活动峰值滞后于注水的时间为5—9天,但又同时发现,随后又有二次地震活动峰值与注水无关,而与当地十天前的罕见大雨相对应。联系上面所述,这里是1966年松代地震群所在、介质破碎,断层犹新,雨水很容易沿断层而下,与注水是异曲同功。由此还可以说明大雨与某些余震的关系。因大震后积累单元断层面被错通,若新断层出露地表,则雨水对促发震源很浅的余震,其滞后时间很短,故有余震时“若天气晴朗,则震势轻微,一遇大雨,则震动之次数多而且强”等记载^[4]。

国内外一些著名水库地震表明,水库地震也有显著的时间滞后现象,其典型的时间序列为蓄水—小震—主震。其相应于(3)式的滞后时间 Δt_1 和 Δt_2 最短者10天,长者达一、二年以上,一般为几个月。这种时间滞后效应有力表明水库地震机制为水的渗透作用。

另一个重要事实是并非水库或注水都能诱发地震,其重要条件在于必须具有构造发育或地层破碎,以保证水的渗透条件良好。即使原来没有发生过地震的稳定地台区,如印度柯依那,因水库座落于破碎带上,也能诱发6.4级强震。这个条件和调整单元性质类同。

三、小结与讨论

1. 大降水或涝对地震的促发作用,可能与水库、注水、灌溉等人工诱发地震有着共同的物理基础。

2. 降水参与孕震过程主要通过调整单元进行的。而调整单元的性质及其运动决定了孕震的时间进程,由一些震例表明,从大降水到小震活跃约几个月。如唐山地震前大降水到大城4.4级地震约七个月,和林格尔震前特大暴雨到其后小震活跃约六个月,邢台震前特大洪涝到王家井小震群约五个月,其它如近年来的海城、炉霍、永善、松潘、巴音木仁等地震前的小震活跃都是在其几个月前的大降水之后出现。而水库蓄水引起小震的滞后时间也是多为三一五个月。因此取 Δt_1 为几个月看来是合适的。进一步研究 Δt_1 和 Δt_2 的物理过程对地震预报有一定的意义。

3. 如果孕震已进入晚期,即使调整单元上没有大降水,那么,水也可由正常的降水或由邻区向震源缓慢渗入,但孕震时间可能因此延长。故把大降水的作用称为“促发”作用。可否由此推论,对我国大陆地壳浅源地震而言,在降水和地表径流绝少的沙漠地区,地震应很少或其孕震时间很长。

4. 大范围和长时间的气象异常包括旱涝异常是由大气环流所决定的,因而不能认

为只要有暴雨就会有地震。但在圈定中近期地震危险区时，可以利用较完善的气象台网。因局地大降水的范围较小，特别是对于我国多地震的半干旱区更是如此。若局地发生了大降水，几个月后该地又出现小震活跃，这就显示出正在活动的调整单元的一个可能标志。若再进一步结合当地构造和前兆异常分析，对判断破坏性地震的地点和中期预报将有所裨益。

参 考 文 献

- 〔1〕 郭增建、秦保燕、徐文耀、汤泉，震源孕育模式的初步讨论，地球物理学报，16,1973.
- 〔2〕 内蒙气象局予报科，内蒙一次局地特大暴雨，气象，5，1976.
- 〔3〕 中央气象局研究所、华北、东北十省（市、区）气象局，北京大学地球物理系，华北、东北近五百年旱涝史料及早涝分布图，1975.
- 〔4〕 中国科学院地震工作委员会，中国地震年表，1956，12.
- 〔5〕 中国科学院地球物理所编，中国强地震简目，地图出版社，1976，12.
- 〔6〕 小流域暴雨径流研究组，小流域暴雨洪峰流量计算，23页，科学出版社，1978.
- 〔7〕 Hubbert, M.K, Rubey, W.W., Role of fluid pressure in mechanics of overthrust faulting. B.G.S.A, 70, 115—166, 1959.
- 〔8〕 Gibbs, J.F., et al. Seismicity in the Rangely, Colorado area: 1962—1970, B.S.S.A., 63, 1557—1570, 1973.
- 〔9〕 Masakazu OHTAKE, Seismic activity induced by Water injection at Matsushiro, Japan., J.phys.Earth, 22, 163—176, 1974.