

大气降水对地震活动某种调制作用的初步讨论*

李海华 谢凤兰
(国家地震局兰州地震研究所)

摘 要

水对地震的作用(例如水库地震、注水地震乃至河流泛滥、大型灌溉诱发地震等现象)已为人们所注意和研究。本文提供并讨论了许多大气降水影响地震活动性的事例。初步研究表明,大气降水对某些地区的浅源地震活动有着某种调制作用,这可能是降水变率影响不均匀地壳的应力调整所致。

一、降水影响地震活动的震例

降水对地震活动的影响有多方面的表现,如图1—6所示。

图1是1966年邢台大震余震区余震频次与该地区降水起伏的对比。由图可见,邢台大震本身对应了该地区降雨曲线的峰值编号1,这次降雨峰值造成了华北平原特大洪涝(这次洪涝与邢台大震的关系在文献[1]中已有讨论)。自邢台大震后长达十余年的余震衰减过程中,余震频次有值得注意的起伏。王泽皋^[2]、姜秀娥^[3]等人曾研究了这种起伏的意义,并把它视为华北地区应力场的“窗口”。而本文从另一角度来观察这种起伏,发现余震在衰减背景(图1中以虚线表示)中的起伏与降水曲线的起伏有较好的对应。这种对应似非偶然,而是有某种规律即地震频次峰值滞后于降水峰值。主震滞后二年多,而余震峰值的滞后时间已缩短到一年左右。这可见图中两条曲线峰值编号2,3。

类似情况还有1973年炉霍大震和1976年松潘大震等。图2是甘孜—炉霍地震带中小震频度^[2]与当地降水对照图。由图可见,在大震前,地震频次峰值滞后时间约二年多,大震后地震频次峰值滞后降水峰值约一年。下面将述及的泛水地震和水库地震的滞后时间也有类似情况。

图3给出降水对区域性地震活动影响的例子。由近五百年来河北省滦县地区有感地震与同期滦河下游决流泛滥次数的对比^[3]可见,在十六世纪中叶,十七世纪中叶和十九世纪上半叶滦河下游决口泛滥次数较多,这反映了该时期地区性大暴雨较频繁。与此相应,

* 1981年4月22日收到初稿,1982年5月17日收到修改稿。

1) 姜秀娥等,邢台震群活动的应力场“窗口”效应,1980。

2) 韩渭宾等,四川地震活动性初步探讨,1979。

3) 中国科学院地理所,地震烈度资料汇编,1971。

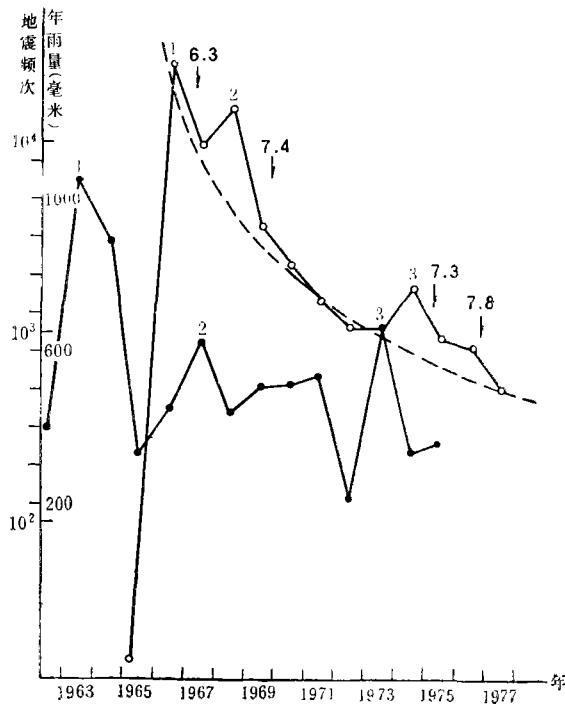


图1 1966年邢台地震逐年余震频次与该地区降水对照图

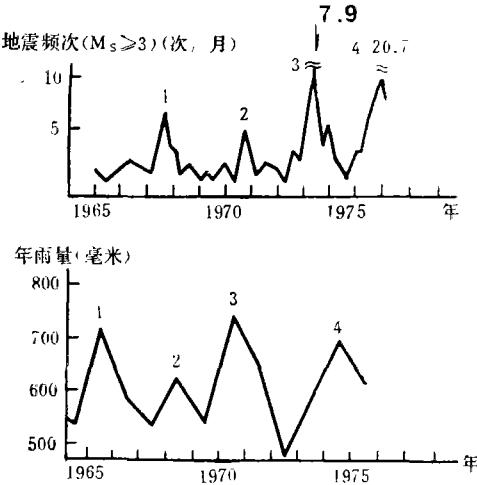


图2 甘孜—炉霍带中小地震活动与降水对照图

该地区有感地震也明显增多。

某些地区中强地震活动受降水的“调制”作用相当明显，如云南楚雄地区1953—1975年七次五级以上中强地震中有六次对应了前一年的降水峰值，仅有一次例外，如图4¹⁾所示。

1) 云南省楚雄州地震办公室资料，1975。

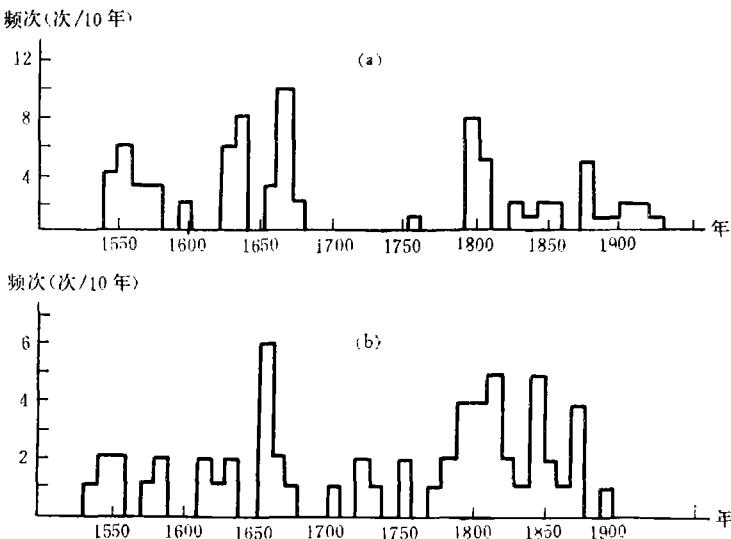


图3 近五百年滦河下游决流泛滥次数与有感地震次数对照图

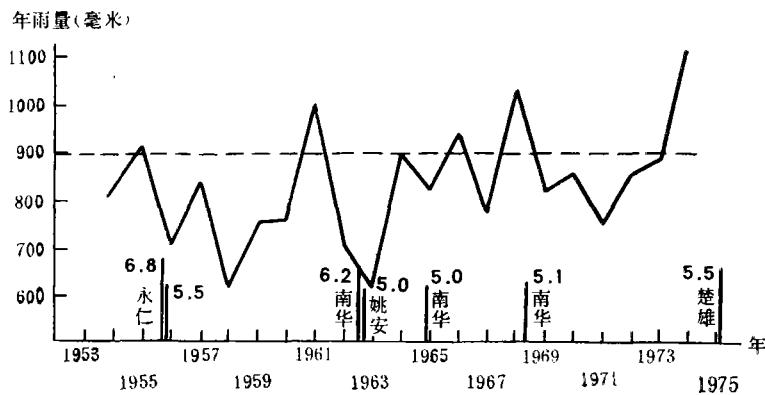


图4 云南省楚雄年降雨量与该地区中强地震的关系

图5是北京西北地区地震频度与降水对照图。这是有一定代表性的例子。该图表明，虽然1966—1976年期间，北京西北地区地震活动总体是趋于衰减，但其起伏过程仍与当地降水起伏有一定的对应关系。

更多的资料如图6所示。虽然地震活动似乎与降水对应，但资料时间太短（弱震资料超过二十年以上的地区是不多的），还不足以说明问题。

由上述震例可见，在某些地区的某些时期，降水对地震活动的影响是存在的。这在我国地震史料中也早有记载^[3]。

国外也有人注意到降水与地震的关系，如1963年麦克吉斯（D. Mcguis）发现1900年以来，美国密苏里州新马德里地区的小震和密西西比河水位有明显关系，该地区地震为浅源地震，震中沿密西西比河断层分布。

1962—1967年美国丹佛深井注水时出现注水地震事件^[4]。3月8日开始注水，4月24日小震开始活动，滞后时间为47天。后来地震频次起伏与注水量明显相关，且滞后时

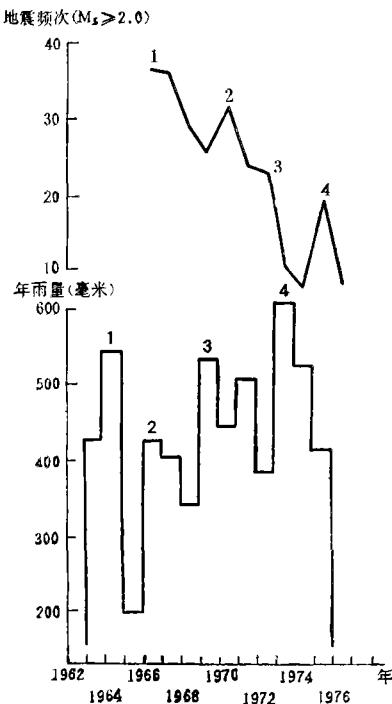


图 5 北京西北地区小震频度与降水对照图

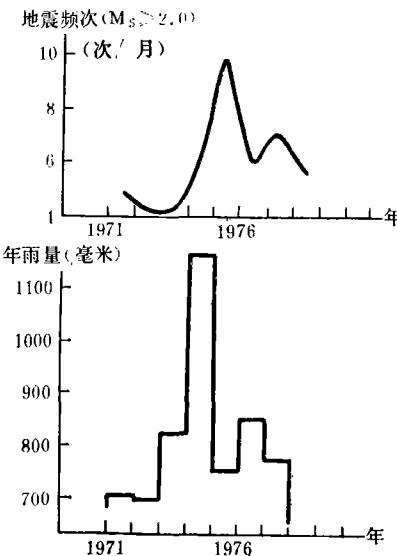


图 6 四川省安宁河断裂带小震活动与降水对照图

间较短。

1970 年日本地震学者有目的地在松代地震余震区进行注水地震试验。有意思的结果是，地震活动频次有五次峰值。其中前三次是注水引起的，后二次与注水无关（因停止注水），试验者对照当地降水资料后，发现这二次地震频次峰值之前正好下了大雨^[5]，原来降水与注水竟有异曲同工之妙。

至于水库地震已为人们所熟悉，这里仅着重指出一个基本事实，即水库地震的峰值也总是滞后于大降水（意味着库容水量的剧增），一般而言，其主震（或震级最大者）的滞后时间要长些，而余震频次峰值的滞后时间则短些。

综上所述，在一定条件下，降水影响某些地区的地震活动的事实是存在的，其表现形式是多样的，其作用时间的滞后性则是一个共同的特征。时间的滞后性显然意味着降水是靠其渗透过程作用于断层运动。

二、旱涝气候变化对大震活动的某种调制

1. 祁连山地区的气候变化与地震活动

兰州大学地理系和中国科学院兰州冰川冻土研究所于 1976 年在祁连山区采集了树龄达九百多年的圆柏年轮标本。研究表明，这是揭示甘青地区近千年气候变化的一种较好的非气象学参数^[6]。祁连山圆柏位于北纬 37 度、东经 99 度、海拔 3670 米、坡向 S65W、

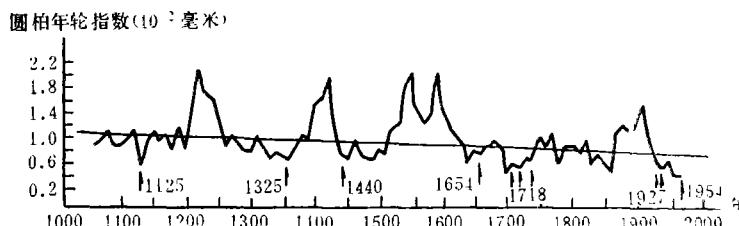


图7 近千年祁连山地区的气候变化与甘肃地区大震活动

坡度75度的林带上部。这种生态环境决定了气温对它生长的主导作用，特别是在当地植物生长季节（5—9月份）的气温起主要作用。这季节正是该地区的降水季节。在通常情况下，该地区雨季气温与降水反相关，即低温与多阴雨、高温与多晴是一致的。图7为祁连山圆柏1059—1975年的年轮指数十年滑动曲线和甘肃地区大震活动对照图。由图可见，大震几乎都在曲线的低谷点附近。如1125年兰州7级大震、1325年会宁7级大震、1654年天水8级大震、1718年通渭7.5级大震以及本世纪20—50年代甘、宁、青地区以海原—古浪为代表的成串大震等。而曲线的低谷点意味着气候的冷湿。大震活动的这种气候背景是一个值得注意的事实。

2. 我国东部地区气候变化与大震活动

根据竺可桢等学者的系统研究，近五百年来，我国东部地区气候曾经历了四次较大的起伏^[7]，其中以十七世纪即明末清初最为突出。当时黄淮海流域气候极为异常，经历了大旱（崇祯年间）、大涝（康熙年初）和严寒等异常气候并发期^[8]，在此背景下，华北地区发生了近五百年中最强烈的地震活动，即1654年天水8级大震、1668年郯城8.5级大震、1679年三河8级大震及1695年临汾8级大震等为代表的地震活动高潮。这次气候异常期在图8中是较为突出的。由图还可见，在十五世纪末至十六世纪初和十九世纪中叶还有两次较小的气候波动，即次一级气候变化，它们相应有次一级的地震活动高潮，分别为1501年朝邑7级、1556年华县8级和1830年河北磁县7.5级、1888年渤海7.5级等大震活动。从本世纪四十年代，特别是自六十年代以来，进入了近五百年来第四次气候异常期^[9]。我国东部地区一些异常天气事件打破了近一、二百年来的记录。典型的如1963年河北大涝、1975年河南大水、1972年华北大旱等。气候异常的发展已受到气象界的重

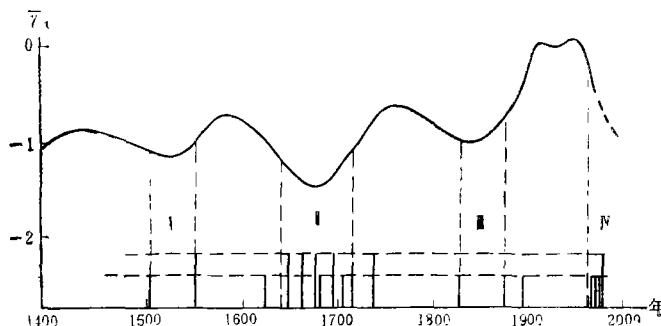


图8 近五百年华北大震活动期的气候异常背景

视。正是在这异常旱涝变化的背景中，发生了以唐山大地震为代表的华北地震活动。

为何在暖期中异常气候较弱而在冷期中旱涝频繁？目前国内外气候学者倾向认为，这可能由于在冷期内大气径向环流异常发展而在暖期内纬向环流盛行的缘故。我国地处中纬，径向环流发展使冷暖气团容易在此交绥，因而常并发局地旱涝异常。

3. 西藏地区气候异常与地震活动

根据中国科学院地理所和西藏气象局的研究，综合树木年轮、孢粉分析和冰川进退、湖泊水位、泉水流量等因子给出了近二百年来西藏地区降水的趋势变化¹⁾，即从上世纪末到本世纪中为明显的多雨阶段。此外，班公湖自1810—1932年期间，有过两次高水位，即19世纪20—40年代和上世纪末到本世纪30年代²⁾，这与上述两个多雨阶段互为印证。在这两个多雨期内，也正是该地区及其附近地区八级大震的活跃期。前者有中印边境强震和1833年云南嵩明8级地震，后者如1897年印度阿萨姆8.7级、1905年克什米尔8级、1912年缅甸8级、1934年尼泊尔8级和1950年西藏察隅8.5级地震等。

上述祁连山地区、华北地区和西藏地区都是我国主要的强震活动区。由这些地区地震活动与其气候背景的相关事实可见，气候的干湿冷暖主要是降水对地震活动的盛衰似乎有某种潜在的调制作用的缘故。

三、讨 论

1. 降水对断层蠕动的作用

前述及，降水对地震活动的影响有多种表现，但其共同之处是时间的滞后性，这似乎意味着降水是靠其渗透过程作用于断层的运动。断层的运动，无论是地震的还是非地震的，都是应变能的释放方式。一般把缓慢的非地震滑动称为蠕动。按地壳可划分为块体的概念，断层蠕动在深部有理由被假定为连续的稳态蠕动，而在地面观测到的断层蠕动则常常具有“事件”的性质，即蠕动是间歇性的瞬态事件。由于应变弱化可能是蠕变事件的原因，因而蠕变事件与断层附近介质的含水量直接有关，这不仅有理论依据，而且为实验所旁证。由于断层带是渗透性最好的地带。显然，降水变率通过活动断层对其附近的地壳浅层孔隙压或介质强度的变化有重要的作用。由此可以解释诸如美国圣安德烈斯断层在雨季后蠕动速度较高等事例。降水对断层蠕动的这种机制是解释降水对小震活动影响的基础。

此外，应力场又往往是通过断层蠕动进行调整的。如果没有蠕动，即块体交界都处于“锁住”，那么这样的交界只能起传递应力的作用而不能形成局部应力集中区。换言之，正是由于地壳介质的不均匀，应力场才得以调整形成震源即局部应力集中区。既然降水能影响断层蠕动或浅层地壳介质的不均匀性，这意味着降水可以通过这种作用进一步影响应力场的调整，这是异常旱涝变化（较长时间尺度的气候变化）对大震活动调制作用的一种可能机制。

1) 吴祥定等，近五百年来西藏高原气候变迁，青藏高原气象论文集，1975—1976。

2) 吴祥定等，西藏近代气候变化及其趋势探讨，1978年全国气候学术讨论会材料。

2. 有关“旱—震”、“涝—震”问题的讨论

有关地震与气象的初步研究表明，“旱—震”和“涝—震”现象都是存在的^{1,2)}，可见文献[10—12]。有一种倾向认为，这两种现象是互不相容的，因而否定降水与地震的关系。事实上，“旱—震”与“涝—震”有内在的统一性，即反映了震前降水不是平稳的过程，而是有巨大的起伏和变化。例如由图1可见，与其说余震频次峰值与降水峰值有所对应，不如说余震起伏与降水的起伏有较好对应。这在图2—5中也有清楚地反映。从气候变化特征来看，旱与涝往往又是孪生的，同一地区旱与涝常常相随，同一时期在不同地区旱与涝又常常并发，这是气候异常期的情况，而在气候正常期，旱与涝都较少。前已述及，在我国气候异常期，由于盛行大气径向环流，冷空气频频南下，旱涝与严寒并发较为频繁。与此同时，地震活动也比较频繁，故史书常有如下记载：“前遭旱涝，现又地震，百姓生活倍为艰难”。“旱涝频仍，地震奇殃”等^[3]。这样的基本事实理应作为讨论降水与地震关系的基本点。下面再来看一个有意思的试验：

1971年奥尔伦(D. R. Allen)指出，在威尔明顿油田，由于大范围抽油，引起地面超过30呎的下沉。后来给油田注水，不仅地面恢复了原来的水平，而且还发生了破坏性地震。这就提出了一个问题，为什么油田没开采时没有地震，而后来抽液又注液时竟发生地震呢？我国油田也有类似情况。这反映了地下液体含量的变化与地震关系更为密切而不在于液体含量的正常状态是什么。这在某种意义上等价于“旱—涝—震”。又如尾池和夫(1977)也指出日本中强地震容易发生在“罕见的长时间干燥期结束、降雨丰盛期到来之后”的事实。原北京地震队耿庆国在总结“旱—震”时(1972)，也注意到这个事实。因此我们认为，原兰州地震大队气象地震组于1972年提出的考虑旱涝共同作用即全面探讨降水变率与地震的关系是合适的。

3. 降水与地震关系的局限性

本文列举的事实表明，地震与降水是有关联的，但这只是问题的一个方面，还应看到降水与地震关系的局限性。由于地震的蕴育和发生是很复杂的物理过程，其内外因素很多，降水只不过是其中可能的因素之一。在本文的讨论中，也只不过是有条件地对某些地区某些时期来讨论降水变化对地震活动的可能影响。今后还必须进一步谨慎地研究这些条件及其机理，例如尽管水库地震中，水位与小震活动的相关性是令人信服的，但在某些条件下，同一水库区的地震活动在某些时期又表现出与库容无关的事实。这在降水与地震关系中也是大量存在的，且不用说很多地区地震活动与降水无关的事实，就是关系较密切的地区在不同时期的表现也未必相同。由此可见，目前我们在认识降水与地震的关系方面，如同研究其他因素与地震关系一样，还是很初步和片面的。目前地震预报还处在这样一个阶段，即把任何地震前兆用来作为预报地震的必震指标还为时过早，单靠降水资料也是不能预报地震的。目前作为预报地震的各种现象或指标，不过是指那些与地震的发生可能有联系的诸现象。由本文讨论可见，在综合预报中，考虑降水因素的作用是必要的，进一步深入研究地震与降水的关系是很有意义的。

1) 赵洪声，震前的旱涝异常，1976。

2) 罗伟，四川省降水与强震关系的初探，1980。

参 考 文 献

- [1] 李海华,由组合模式讨论大降水对地震的促发作用,西北地震学报,1, 1, 1979.
- [2] 王泽皋,邢台余震频度增高及以后发生的华北强震,地震学报,1, 2, 1979.
- [3] 中国科学院地震工作委员会,中国地震年表,1956.
- [4] J. H. Healy et al., *Science*, 161, 1968.
- [5] Masakazu OHTAKE, *J.Phys. Earth*, 22, 163—176, 1974.
- [6] 卓正大、张先恭,祁连山地区树木年轮与我国千年的气候变化,兰州大学学报,6, 1978.
- [7] 竺可桢,中国近五千年来气候变迁的初步研究,中国科学,2, 1973.
- [8] 王涌泉,1662年黄河大水的气候变迁背景,全国气候变化学术讨论会文集,科学出版社,1978.
- [9] 张家诚等,气候变迁及其原因,科学出版社,1976.
- [10] 兰州地震大队气象地震组,气象与地震,地震出版社,1976.
- [11] 赵洪声,初探干旱与地震发生的关系,地球物理学报,17, 4, 219—230, 1974.
- [12] 耿庆国,干旱与地震,科学实验,10, 1976.

A PRELIMINARY STUDY OF THE MODULATION ACTION OF ATMOSPHERIC PRECIPITATION ON SEISMIC ACTIVITY

LI HAIHUA XIE FENGLAN

(Seismological Institute of Lanzhou, State Seismological Bureau)

Abstract

It has been noted that water induces seismicity. For example, reservoir pounding, water injection, waterflood and large scale irrigation have induced seismicity.

In this paper, we discussed many facts relating to the influence on seismic activity by the change of atmospheric precipitation. Preliminary result seems to show that modulation action of atmospheric precipitation does affect the occurrence of shallow focus earthquakes in certain regions. It is probably caused by the influence of the change of the rate of precipitation upon the stress adjustment of the inhomogeneous crust.