

城市重力荷载对地震的激发作用

单修政

(陕西省地震局, 西安)

摘 要

本文是《城市直下型地震初探》(发表于《国际地震动态》1989年10期)一文的续文。该文进一步讨论了城市对地壳的重力荷载作用, 通过对比分析, 说明这种作用是各种外力对地壳作用之中最大的一个, 从而, 仅从重力荷载这一方面论证了人为因素激发城市直下型地震的可能性。

关键词 城市直下型地震 重力荷载

一、引 言

外力激发地震的事实已得到普遍承认。笔者在《城市直下型地震初探》一文中曾指出^[1], 在城市地区, 人对地壳的主要作用方式有4种: 1、增大荷载; 2、抽取地下水引起地面的不均匀沉降; 3、地下空间的出现降低了地壳强度; 4、其它形式的作用。在本文中, 笔者将对上述第一个问题, 即城市地区重力荷载对地壳的作用进行探讨, 试图进一步阐述在城市地区人类活动激发地震的可能性。

二、几种激发地震的外力

目前, 一个普遍的认识是: 在地壳岩石处于即将破裂的临界状态时, 如果有某一个外力作用在孕震体上, 将使破裂提前或推后, 从而导致地震提前或推后发生, 也就是说, 外力对地震的发生有调制或激发的作用。

对地震有激发作用的外力主要有: 1、起潮力; 2、大气压力; 3、大气降水; 4、水库蓄水; 5、采矿; 6、城市荷载等。很多人都研究了这些外力与地震的关系, 其中水库和采矿与地震的关系似乎更明显一些^[2-5], 而城市与地震的关系, 则是笔者提出的新观点。

笔者认为, 城市直下型地震的发生绝不是一个偶然现象, 而是现代化城市对地壳的各种作用, 其中包括重力作用的一种必然结果。随着城市的发展, 这类地震亦呈现出增强的趋势。笔者曾提出了属于这类地震的一些震例^[1]。

至于高能量的人工爆破、深钻孔高压注水等诱发的地震, 也可以看作是外力激发的地震, 但那只是在特定环境和特定背景下进行的, 此处不予专门讨论。

三、作用于地壳的外力的量值

笔者试图定量地分析外力对地壳作用的强弱,用以讨论重力荷载对城市直下型地震的激发作用。

由于对这些外力的度量采用了不同的物理量,比如起潮力用的是重力和加速度的单位,而大气压力等用的是压强的单位。为了便于比较,我们取一个发生在地壳内的震级为7级的理想孕震体,假设该孕震体不与周围地壳发生联系,是一个孤立的地质体。之所以选择震级为7级的孕震体,是因为在所讨论的激发地震中,除列举的城市直下型地震的震例外,都不超过7级。

根据IO. B.里兹尼钦科给出的震源参数^[6],上述7级地震的孕震体,其沿走向的破裂长度 $L = 62$ 公里,沿倾斜方向的宽度 $W = 24$ 公里,孕震体的下限假设以地壳底面为界,即 $h = 33$ 公里,我们分别以 L 、 W 和 h 为孕震体的三维尺度,则该理想孕震体的体积

$$V = L \cdot W \cdot h = 62 \times 24 \times 33 \approx 5 \times 10^4 \text{ (立方公里)}$$

$$= 5 \times 10^{13} \text{ 立方米}$$

而该孕震体在地表的面积

$$S = L \cdot W = 62 \times 24 \approx 1.5 \times 10^3 \text{ (平方公里)}$$

$$= 1.5 \times 10^9 \text{ 平方米}$$

地壳岩石的密度 d 平均按3吨/米³计算,则上述孕震的质量

$$m = V \cdot d = 5 \times 10^{13} \times 3 = 1.5 \times 10^{14} \text{ (吨)}$$

$$= 1.5 \times 10^{17} \text{ 公斤}$$

下边,我们计算在外力变化时上述孕震体所受各种外力的大小。

1、起潮力

据推算,起潮力的潮差最大时 $g = 292$ 微伽,约为 3×10^{-4} 伽 $= 3 \times 10^{-4}$ 厘米/秒² $= 3 \times 10^{-8}$ 米/秒²,由此可以得到,在起潮力变化时,相当于孕震体所受的最大外力变化为:

$$F = m \cdot g = 1.5 \times 10^{17} \times 3 \times 10^{-8}$$

$$= 4.5 \times 10^{11} \text{ (牛顿)}$$

2、大气压力

根据记录,大气压力的最大年变化一般不超过50百帕,短期变化的幅度更小。1百帕等于0.76毫米汞柱,约为10.44毫米水柱,则50百帕大气压力的变化相当于0.52米水柱的变化。

同样,按上述震源体考虑,在大气压力变化时,相当于在其震源体地面部分附加的水体质量为

$$m = S \cdot h \cdot d = 1.5 \times 10^9 \times 0.52 \times 1 = 0.78 \times 10^9 \text{ (吨)}$$

$$= 0.78 \times 10^{12} \text{ 公斤}$$

也就是大气压力的变化相当于对孕震体施加的外力为

$$F = m \cdot g = 0.78 \times 12^{12} \times 9.8 \approx 7.6 \times 10^{12} \text{ (牛顿)}$$

式中 d 为水的密度， g 为重力加速度。

3、大气降水

我们设想一次降水或干旱过程中降了500毫米的水或蒸发了相同数量的水，而在这个过程中，其范围一般不会小于孕震体在地表的面积，也就是说，相当于给孕震体施加了或减少了一定水体的重力，其量值为

$$F = m \cdot g = S \cdot h \cdot d \cdot g = 1.5 \times 10^9 \times 0.5 \times 10^3 \times 9.8 \\ \approx 7.5 \times 10^{12} \text{ (牛顿)}$$

4、水库蓄水

由于一般水库的面积都小于前述孕震体的地表面积，所以认为，水库水体的重力全部作用在孕震体上。我们仅以库容为100亿立方米的普通大型水库（并非最大型水库）为例，计算其施加于孕震体的重力

$$F = m \cdot g = 10^{10} \times 10^3 \times 9.8 \approx 1.0 \times 10^{14} \text{ (牛顿)}$$

5、采矿

假设某一个矿区在相当于孕震体的范围内总共开采了10亿吨矿体，那么相当于对孕震体卸载的重力为

$$F = m \cdot g = 10^9 \times 10^3 \times 9.8 \approx 1.0 \times 10^{13} \text{ (牛顿)}$$

6、城市重力

如同一个水库一样，即使是我们所说的大城市，其建筑物也都主要集中在小于前述孕震体地表面积的范围之内，即建筑物的重力荷载全都集中于孕震体上。我们假设在这个孕震体上建筑物的高度平均按2米、建筑材料的密度按3吨/米³计算，则城市的重力荷载为

$$F = S \cdot h \cdot d \cdot g = 1.5 \times 10^9 \times 2 \times 3 \times 10^3 \times 9.8 \\ \approx 8.8 \times 10^{13} \text{ (牛顿)}$$

四、分析讨论

我们从以下几个方面对上述外力进行对比、分析和讨论。

1、量值

把前边的计算结果列成表（表1）。需要说明的是：仅仅是为了便于比较各个外力对震源作用的强弱，才假设存在一个与周围介质没有联系的理想孕震体；仅仅是计算了这些外力相当于对震源的重力作用，而未考虑其它因素，比如水的下渗对岩石强度和断层错动时摩擦系数的影响以及各种外力与构造之间的关系等。

从这张表上可以一目了然地看出各个外力对孕震体荷载作用的大小。即水库重力、城市重力和采矿卸载明显的大，而起潮力、大气压力和降雨荷载要小得多了。实际上，孕震体并不是一个孤立的地壳块体，所以起潮力也并不单独地作用在孕震体上，因此，即使是震级更大，也就是孕震体更大的地震，起潮力对整个地壳的作用可能很大，而对孕震体的作用则是很小的。同时也容易看出，对于小于7级的地震，即震级越小，起潮

表1 孕震体受力值

外力类型	最大受力值(牛顿)	备 注
起潮力	4.5×10^{11}	按潮差 3×10^{-6} 米/秒 ² 计算
大气压力	7.6×10^{12}	按压差50百帕计算
降雨荷载	7.5×10^{12}	按降雨量500毫米计算
水库重力	1.0×10^{14}	按蓄水100亿吨计算
采矿卸载	1.0×10^{13}	按开采10亿吨计算
城市重力	8.8×10^{13}	市区建筑高度平均 按2米计算

力、大气压力以及降雨作用,比水库和城市荷载及采矿卸载对孕震体的作用力越小。

2、各个外力在地壳中产生的效应

可以根据各个外力对承压含水层上的井孔水位产生的效应比较其对地壳作用的强弱。表2是我国地震地下水观测网中部分井孔对地壳应力应变的反应能力统计表(表2)。从中可以看出,在同一类型或同一井孔中,气压效应大于起潮力效应。

表2 井孔对地壳应力应变的反应能力*

井 的 类 型		井数(口)	潮差平均值(厘米)	气压系数平均值(厘米/百帕)	按气压变化50百帕时计算 水位变化(厘米)
观 测 层 性	松散岩石	7	0.43	0.36	1.80
	半胶结岩石	13	2.28	4.43	22.15
	基 岩	47	7.58	3.50	17.50
观 测 层 深(米)	<200	28	0.51	2.1	10.65
	200~1000	24	4.66	2.90	14.50
	>1000	15	0.45	5.50	27.65

*此表取自国家地震局地下水动态清理攻关成果综合报告,最后一列由笔者根据气压系数计算而得。

图1是河北省新泽5井和天津上古林1井及上古林3井水位与降雨量关系图。从图中可以看到,这些具有降雨荷载效应的井孔,其水位受降雨的影响大于气压及固体潮的影响。

虽然还没有或无法得到城市重力、水库荷载及采矿卸载引起的井水水位变化的资料,但从在某些井孔附近地面水体的变化所引起的井水位变化量可以推测而知。因为它们影响水位变化的机理是一致的。

图2是渭河涨水时陕西省渭南双王井的水位曲线图。双王井是一口第四系孔隙承压

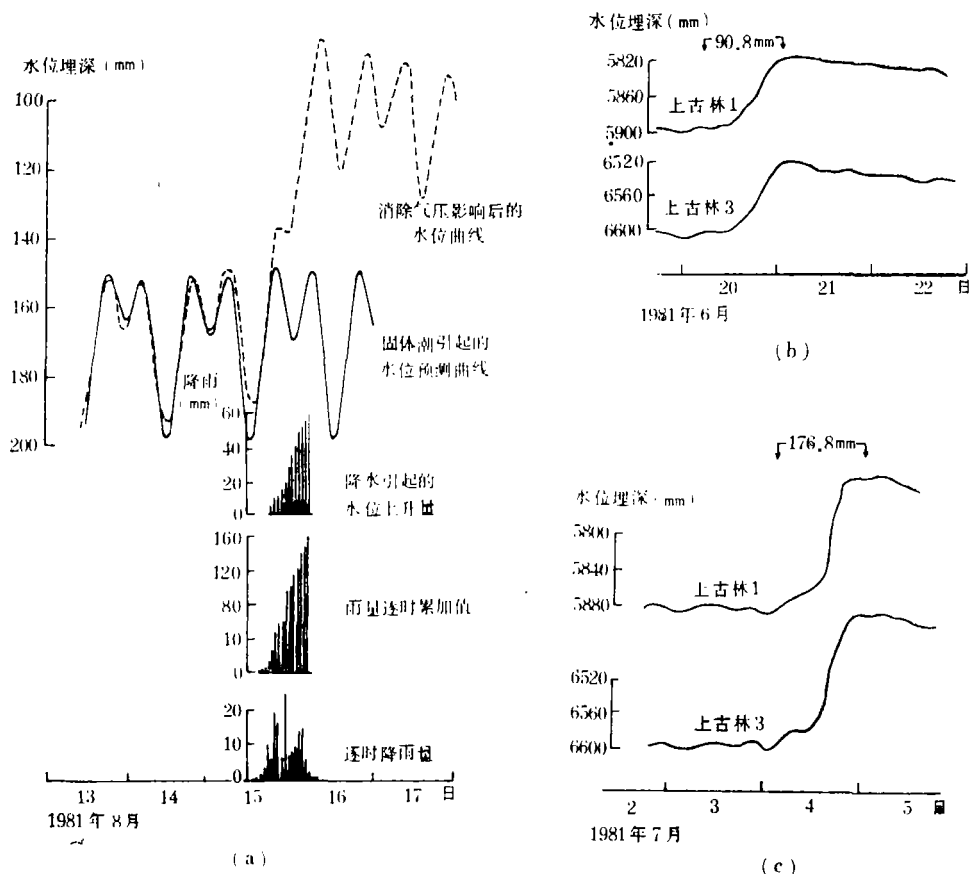


图1 水位与降雨量关系图。

a—新泽5井(据贾化周等), b和c—上古林1井、上古林3井(据黄振义等)

含水层地震观测井,距渭河约2千米。1986年6月27日由于上游普降大雨(井区数百公里内未降雨),渭河水以3000米³/秒的流量流经双王井附近河段(在此之前,流量很小),从而引起双王井水位上升大约30厘米。也就是说,渭河河道内突然增加的相当于 10^{11} 牛顿的水体重力使其附近的双王井水位上升了30厘米(渭河在双王井附近形成曲流,绕双王井流过;我们计算的是该井附近上下10公里河道内的水体质量)。由此可以设想荷载更大的城市和水库重力在承压含水层上引起的效应——将远远大于降雨荷载、大气压力和起潮力引起的效应。

3、压强

还可以从压强的大小讨论上述除起潮力之外的几个外力对地壳的作用。

根据贾化周等人的推导,地表应力向地下的传递与荷载面积的关系很密切,当面积

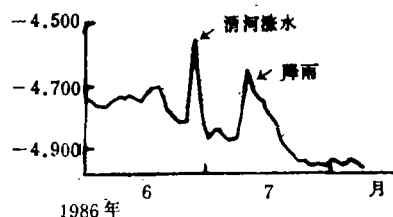


图2 渭河涨水引起双王井水位变化图

表3 各个外力在地表产生的压强

外力类型	最大压强 (折合成大气压)	备 注
大气压力	0.05	按气压变化50百帕计算
大气降水	0.05	按降雨500毫米计算
水库水体	10	按水库水深100米计算
采矿卸载	10	按开采厚度30米计算
城市重力	10	按建筑材料堆积厚度30米计算

小时, 衰减很快, 反之则慢一些^[7]。从前述关于理想孕震体的假说中, 可以认为这几个外力作用在地表的面积是一致的, 而其压强无论是最大值还是平均值, 在量值上的差距是很大的——大气压力和大气降水在地表产生的压强可以认为是均一的, 即使有差异也不大, 其量值都是很小的; 而城市和水库重力在地表产生的压强以及采矿对地壳减小的压强, 其量值无论是最大值还是平均值, 都远远大于大气压和降水在地表产生的压强(表3)。显然, 城市重力、水库水体和采矿卸载对地壳深处的作用远远大于大气压力差和大气降水的作用。

4、作用时间

作用效果, 即地表应力向地下的传递与作用力的持续时间有着密切的关系。显而易见, 起潮力、大气压力和降雨等, 其变化是瞬时的, 持续时间比较短, 而水库和城市重力荷载及采矿卸载的作用则是长期持久的。

五、结 论

本文可以得出以下认识和结论:

1、相比之下, 起潮力、大气压力及大气降雨的变化等, 其对地壳的作用是比较小的, 这大概是其与地震的关系, 即对地震的激发作用不很醒目的缘故所在。

2、换言之, 水库和采矿与地震的关系要密切得多, 这一认识已为广大的地震学家所接受, 这个原因仅从加载和卸载的角度分析, 其量值也要大得多, 对地壳或孕震体的作用要强得多, 更不用说还可能对地壳产生其它形式的作用。

3、根据对城市重力荷载的初步计算, 在量值和在压强方面与水库都不相上下; 而且, 在城市地区, 无论是压力还是压强, 其分布是很不均匀的, 某些高层建筑物之下的地壳受着相当于水深超过100米的水库库底的压强, 而在采矿地区(对某些城市地下的矿产进行了开采, 例如唐山市), 又形成负压, 其结果产生了很大的不平衡压力差; 同时, 在城市地区, 往往修建有水库、蓄水池及引水渠道等, 也就是说, 在城市地区还存在有对地壳的其它形式的作用; 再说是, 在城市地区, 一般都进行了大规模的地下抽水, 这对加剧城市地区的构造活动起着很大作用。由此可见, 因城市的出现而诱发地震

的观点是不无道理的，这就是笔者在文献〔1〕及本文中提出的基本论点——城市直下型地震是人为因素激发的。

(1989年10月31日收到初稿)

参 考 文 献

- 〔1〕 单修政，城市直下型地震初探，国际地震动态，10，1989。
- 〔2〕 冯锐，地倾斜与地震，地震出版社，1978。
- 〔3〕 马宗晋等，中国九大地震，地震出版社，1982。
- 〔4〕 耿庆国，中国早震关系研究，海洋出版社，1985。
- 〔5〕 N. Г. Кисси, Землетрясения и Подземные воды, Издательство «Наука», Москва, 1982.
- 〔6〕 Ю.В.里兹尼科科主编，地球物理研究，韩大字等译，地震出版社，1982。
- 〔7〕 贾化周等，地震地下水动态及其影响因素分析，地震出版社，1985。

THE EARTHQUAKE EXCITATION EFFECT OF CITY GRAVITY LOAD

Shan Xiuzheng

(*Seismological Bureau of Shanxi Province*)

Abstract

The gravity load effect of the city has been further discussed. Basing on the contrast analysis, it is demonstrated that this effecting is biggest one to the crust among the various external forces. Therefore, the possibility of the artificial excitation for the city vertical type earthquake has been expanded from the gravity load.