

印尼巨大地震引起的云南水位异常记录及其意义

付虹 邬成栋 刘强 王世芹 陈燕

(云南省地震局, 昆明 650224)

摘要 2004年12月26日和2005年3月29日印度尼西亚苏门答腊西北海域相继发生了2次巨大地震,云南地区的地下水位观测记录到了这2次地震的大量信息。文中给出了云南水位数字和模拟记录到的印尼2次巨大地震的响应情况,并对其进行初步分析。认为:目前的水位模拟记录较数字化记录能更清晰地看到巨大地震引起的水位异常变化过程;大震引起的水位上升和下降可能是地震波的作用改变了构造单元的应力所致,并与井点的地质构造部位有关;同一井孔对同一断层面上破裂方式一致的大地震的响应方式是一致的,只是对震级大的地震响应幅度大,震级减小,响应幅度亦减小。

关键词 印尼8级地震 云南水位异常 机理

中图分类号: P315.72⁺3

文献标识码: A

文章编号: 0253-4967(2007)04-0873-10

0 引言

印度尼西亚苏门答腊岛及其附近海域位于印度板块和欧亚板块交汇部位的安达曼弧构造带上,板块作用强烈,导致很多强震、大震的发生。据中国地震台网测定,2004年12月26日09时58分在苏门答腊西北海域发生的 M_s 8.7地震位于安达曼弧上,其余震沿板块边界向北延伸展布超过1400km。震后缅甸、云南迅速出现了4~5级地震响应,响应地震分布和余震分布在同一条带上(图1a),可见该地震对云南的地震活动、应力场等是有直接影响的。根据美国哈佛大学的结果,震级为 M_w 9.0,其震源机制为逆断层。2005年3月29日00时09分在8.7级地震东南方向又发生 M_s 8.5地震,其余震沿板块边界向南延伸达几百千米(图1b)。据哈佛大学提供的结果,震级为 M_w 8.6,该地震震源机制与 M_w 9.0相同都是逆冲断层。这2次地震引起了中国大陆地区大量井孔水位记录异常变化,国内有同行对这2次印尼8级地震地下流体数字化记录的响应特征作了分析(中国地震局监测预报司编,2005),但没有涉及模拟记录资料。云南是中国大陆距离印尼地震最近的地区,水位的响应非常突出,本文除水位数字记录资料外还收集到了大量的云南水位模拟记录资料,用水位的数字和模拟记录对印尼2次巨大地震的响应特征进行了初步分析,得到一些新的认识。笔者曾经对地方震及近震水位的震后效应作过分析研究,并认为地震引起的水位同震和震后效应是两个不同的概念,有不同的物理含义(付虹等,

〔收稿日期〕 2006-12-01 收稿,2007-03-21 改回。

〔基金项目〕 云南省“人才培养”(2006PY0139)和“十一五”国家科技支撑计划项目(2006BAC01B020302)共同资助。

2002)。本文主要分析震后水位数字记录与模拟记录的不同特征和震后变化的分布与构造的相关性等,因此在这里把所有的同震和震后效应都称为印尼巨大地震后的水位记录异常。

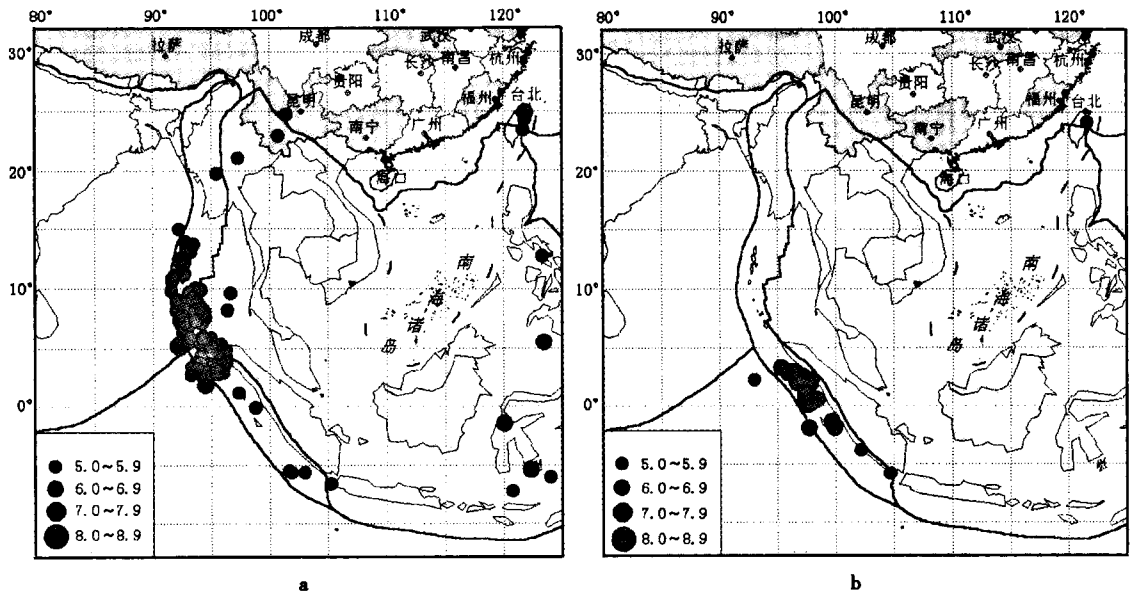


图 1 印尼 2 次巨大地震序列震中分布示意图
Fig. 1 Epicenter distribution of two large earthquake sequences in Indonesia.
a 2004 - 12 - 26—2005 - 03 - 28; b 2005 - 03 - 29—2005 - 04 - 30

1 印尼 2 次巨大地震后云南水位观测异常记录

1.1 资料选取

云南有 57 口井在观测水位,水位观测井孔分布相对均匀,但观测方法不太一致,有的是模拟记录、有的是数字记录、有的是模拟和数字同时观测。笔者一共收集到 49 口井在 2 次印尼巨大地震时记录的水位资料,其中模拟记录有 26 口井,数字记录有 30 口井,其具体的观测情况见表 1 和图 2。

表 1 印尼 2 次巨大地震云南水位记录异常情况统计表
Table 1 The statistics of water level abnormity in Yunnan after two large earthquakes in Indonesia

序号	台站	模拟记录观测异常形态		数字记录观测异常形态	
		12 月 26 日地震	3 月 29 日地震	12 月 26 日地震	3 月 29 日地震
1	思茅	振荡 - 上升	振荡 - 上升	上升	上升
2	沧源	振荡	振荡		
3	施甸	振荡	振荡		
4	洱源	振荡	振荡		
5	勐腊	振荡	振荡		
6	澜沧	振荡 - 下降	振荡 - 下降		

续表 1

序号	台站	模拟记录观测异常形态		数字记录观测异常形态	
		12 月 26 日地震	3 月 29 日地震	12 月 26 日地震	3 月 29 日地震
7	丽江	振荡 - 下降	振荡 - 下降		
8	易门	振荡	振荡	振荡	振荡
9	德宏	振荡	振荡		
10	保山	振荡 - 上升	振荡 - 上升	上升	没响应
11	罗茨	振荡 - 下降	振荡 - 下降		
12	临沧	振荡	振荡		
13	开远	振荡	振荡	振荡	振荡
14	南华	振荡 - 上升	振荡 - 上升		
15	剑川	振荡 - 上升	振荡 - 上升		
16	个旧	振荡	振荡		
17	武定	振荡	振荡		
18	双江	振荡 - 下降	振荡 - 下降		
19	弥勒	振荡 - 上升	振荡 - 上升	上升	上升
20	大姚	振荡	振荡		
21	腾冲	振荡	振荡	振荡	振荡
22	曲江	振荡 - 下降	振荡 - 下降	下降	下降
23	怒江	振荡 - 上升	振荡 - 上升	上升	上升
24	普洱	振荡	振荡	振荡	振荡
25	陇川	没响应	没响应		
26	景东	没响应	没响应		
27	镇沅	没响应	没响应		
28	宾川			振荡	振荡
29	澄江			振荡	振荡
30	大理			没响应	没响应
31	峨山			下降	下降
32	富民			振荡	振荡
33	高大			振荡	没异常
34	华宁			振荡	没异常
35	建水			振荡	振荡
36	江川			振荡	没异常
37	景谷			没响应	没响应
38	禄劝			下降	下降
39	嵩明			振荡	没响应
40	西盟			振荡	振荡
41	下关			振荡	没响应
42	小哨			振荡	没响应
43	新平			上升	上升
44	元江			振荡	没响应

续表 1

序号	台站	模拟记录观测异常形态		数字记录观测异常形态	
		12 月 26 日地震	3 月 29 日地震	12 月 26 日地震	3 月 29 日地震
45	昭通			上升	上升
46	会泽			没响应	没响应
47	祥云			没响应	没响应
48	寻甸			没响应	没响应
49	翠云			振荡	没响应

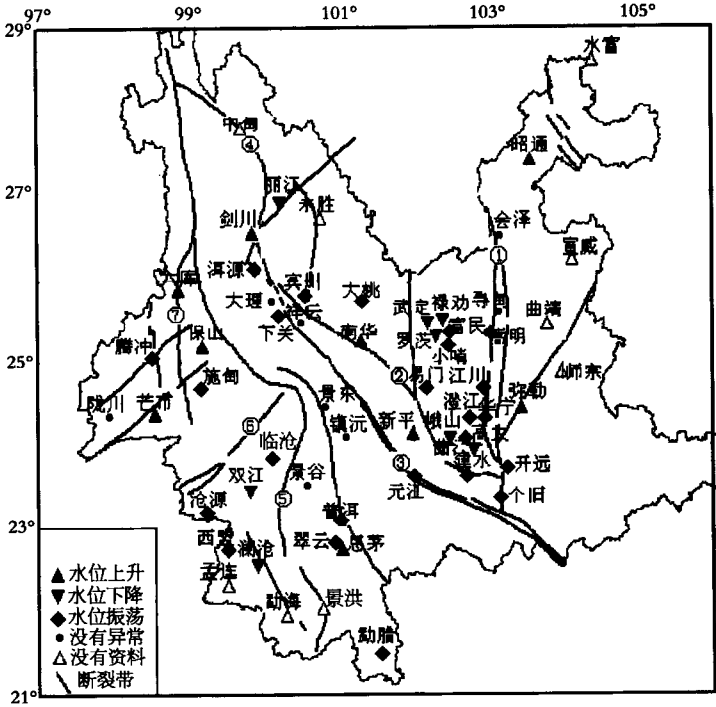


图 2 2004 年 12 月 26 日印尼巨大地震云南水位观测台站示意图

Fig. 2 Distribution of water level observation stations in Yunnan.

①小江断裂;②楚雄-建水断裂;③红河断裂;④中甸-剑川断裂;⑤澜沧江断裂;⑥南汀河断裂;⑦怒江断裂

1.2 印尼巨大地震引起的云南水位观测异常记录

云南数字记录的采样率是 1 分钟 1 次,因此虽然 2 种记录方式观测到的水位震后变化总体变化趋势一样,但细节是有差别的。图 3 给出了同一个井孔的模拟和数字记录观测结果,从图 3 可见数字记录只显示了印尼 2 次巨大地震后该井孔的水位是上升的,模拟记录显示除上升外还有和地震波相似的振动特征。

云南地区 30 个水位数字化记录台站,有 25 个台站在 2004 年 12 月 26 日的地震后记录到水位的异常变化,2005 年 3 月 29 日巨大地震后只有 15 个台记录到水位的异常变化,这 15 个台都包括在第 1 次巨大地震的 25 个台中。记录结果显示同一观测井记录到的 2 次巨大地震的异

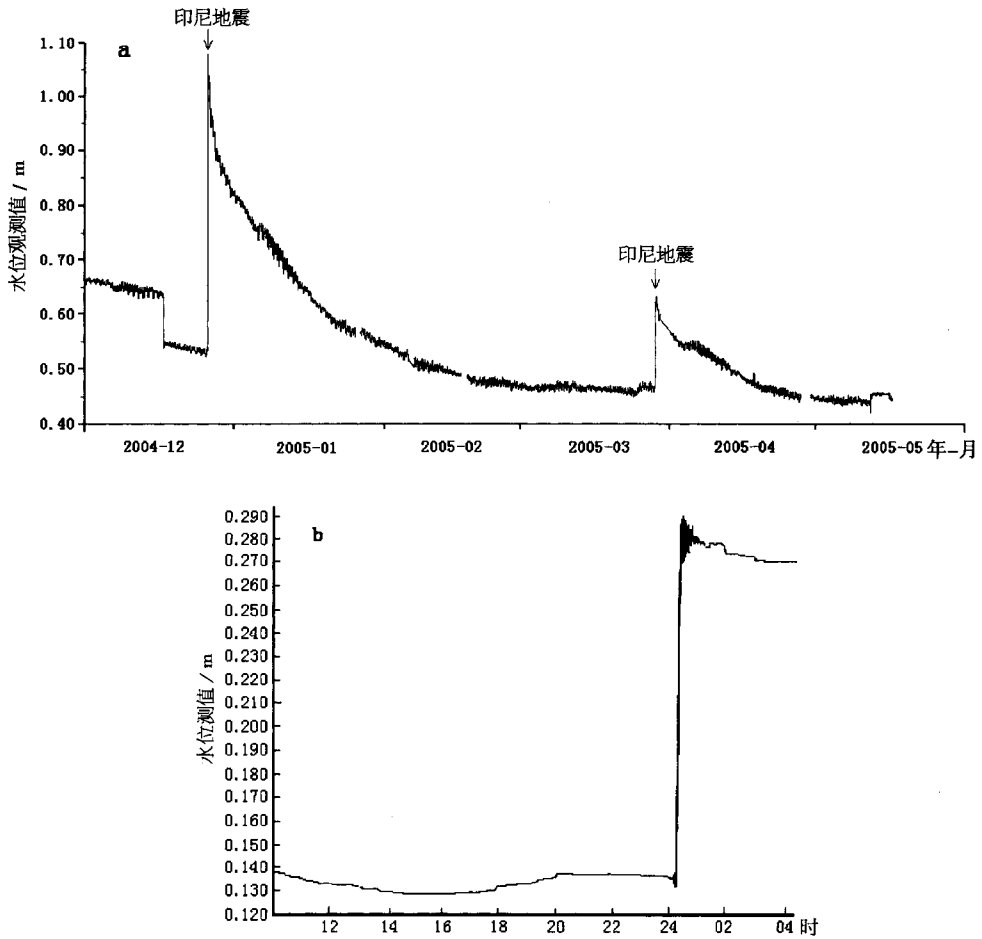


图3 思茅井印尼巨大地震后水位变化示意图

Fig. 3 Change of water level in Simao after the Indonesia large earthquakes.

a 数字记录; b 3月29日模拟记录

常图像都非常相似,只是2004年12月26日地震引起的变化幅度比2005年3月29日地震引起的变化幅度大。如宾川台水位数字记录到的2次地震信息都是振荡(图4a),新平台水位数字记录到的2次印尼巨大地震的信息都是水位上升(图4b)。

共收集到云南地区26个水位模拟记录台站的资料,其中有23个台站记录到2006年12月26日地震的信息,有22个台站记录到2005年3月29日地震的信息,模拟记录和数字记录有很多相似性,即2次地震造成的同一井的水位模拟记录总体变化图形是相似的,只是前一次地震产生的水位异常变化幅度比后一次地震产生的水位异常变化幅度大。

2004年12月26日的地震震级比2005年3月29日的地震震级大,2次巨大地震云南水位响应幅度也是第1次比第2次大,说明水位的响应与地震的震级是相关的。

云南地区的水位模拟记录台站有88%记录到2004年12月26日地震的信息,85%记录到2005年3月29日地震的信息;数字化记录台站,有80%的台站记录到2004年12月26日地震

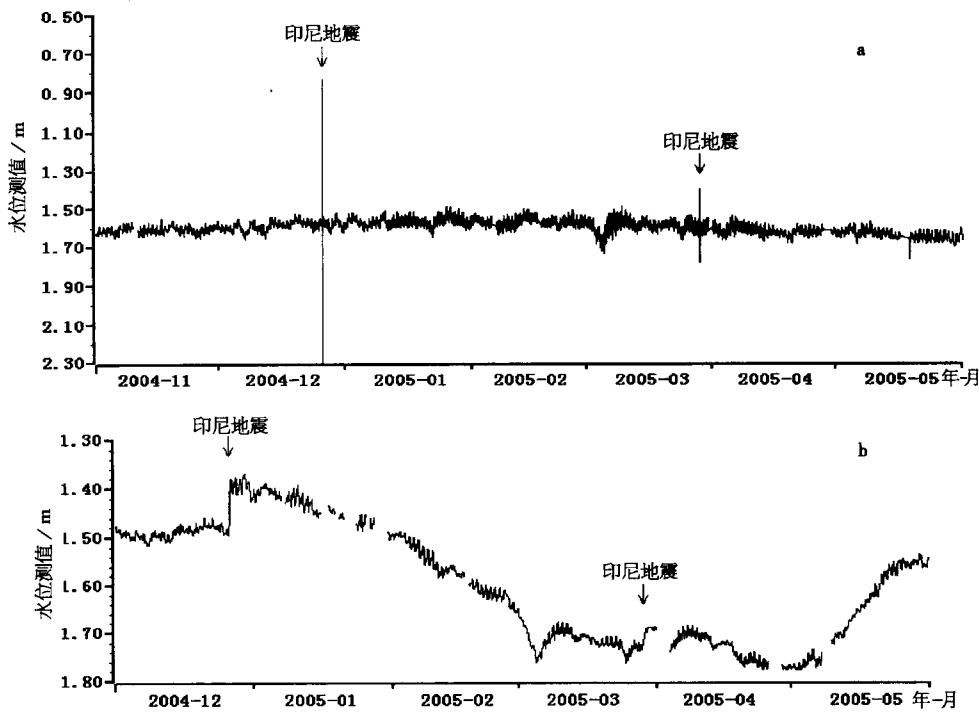


图 4 水位数字记录示意图
Fig. 4 Digital water level records.
a 宾川台; b 新平台

的信息,50%的台站记录到2005年3月29日地震的信息。数字化观测记录到的异常信息比模拟记录到的异常信息少,分析原因可能是数字记录的采样率是1分钟1次,因此,对变化量级较小、持续变化未到1分钟的异常变化信息会有丢失。因此,水位的模拟记录比现有的数字记录能更好地描述其对巨大地震的响应情况。

1.3 印尼巨大地震云南地区水位记录异常典型特征

云南地区的水位记录,对于同一台站同一记录方法记录到的2次巨大地震的形态完全相似,但在原始的模拟记录图中第1次巨大地震造成的水位异常变化比第2次大,相对而言后一次巨大地震的水位模拟记录图纸更容易扫描到计算机里,因此对水位异常形态进行讨论的过程中给出的模拟记录原始图主要是第2次巨大地震的记录。

云南水位记录到的2次印尼巨大地震信息,从模拟记录分析,大多数是和地震波形态相似的水震波(图5a)。有9个台站的记录显示,水位除有和地震波相似的振荡特征外还有上升过程(图5b,c),这些台站是思茅、剑川、保山、弥勒、南华、新平、怒江、昭通、芒市。有8个台站的记录图显示水位有下降过程(图5d),这8个台站是丽江、罗茨、曲江、峨山、双江、澜沧、武定、禄劝。

水位的上升和下降从空间分布上看,在小江断裂以东地区的昭通和弥勒2个井孔都是上升的,在小江断裂以西、楚雄-建水断裂以北和金沙江断裂以东地区主要是下降,楚雄-建水断裂

以西地区至澜沧江断裂中间的构造单元里的井孔都以上升为主,接下来澜沧江以西地区又以南汀河为界,北边的为上升、南边的为下降。上升和下降的台站基本上都集中在相近的大地构造单元里(图 2),可能说明这种上升、下降与构造有一定的关系。

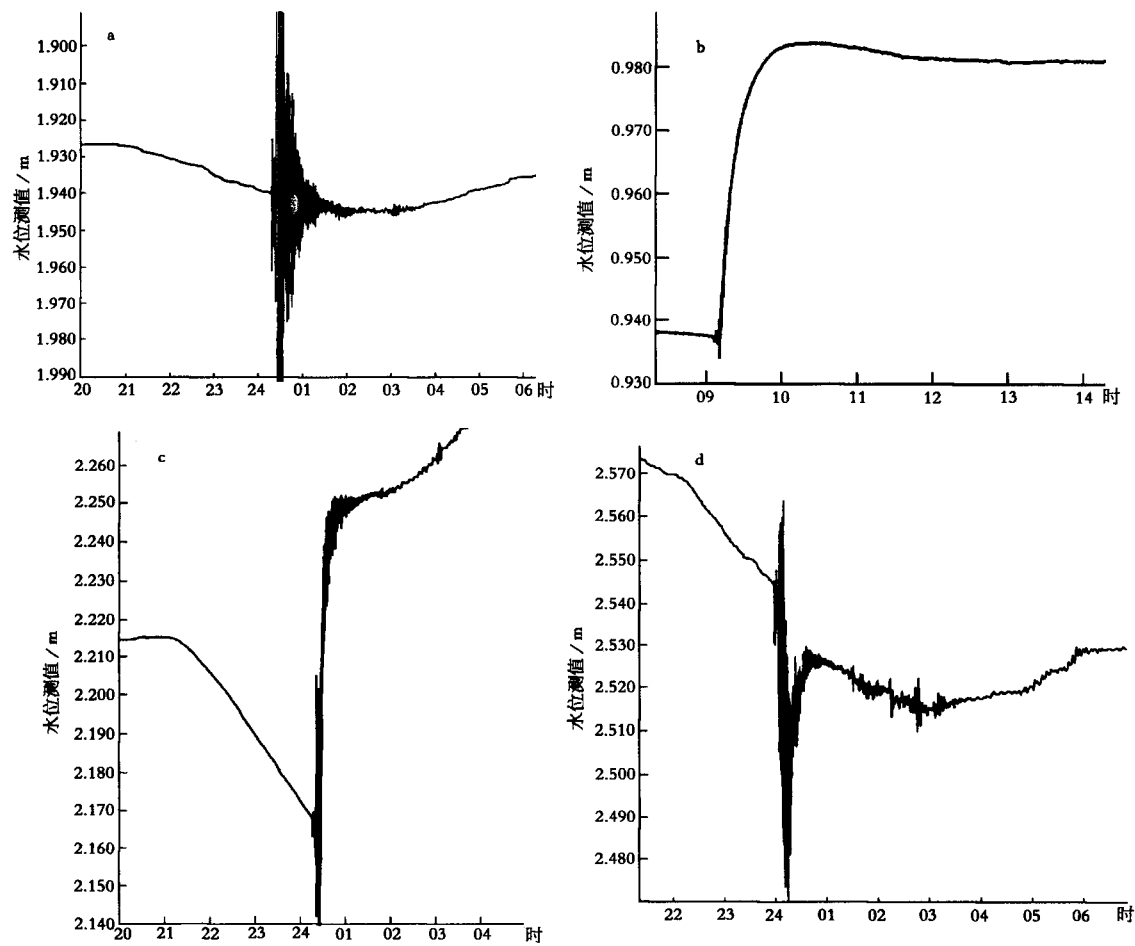


图 5 印尼巨大地震云南水位模拟观测记录示意图
Fig. 5 Simulated water level records in Yunnan after Indonesia large earthquakes.
a 沧源台; b 保山台; c 弥勒台; d 丽江台

2 认识和讨论

水位数字记录的采样率为 1 分钟 1 个点,对连续的变化过程记录信息有丢失,因此水位模拟记录比目前的数字记录能更客观地描述大震引起的水位变化过程,在水位记录采样率没有提高以前,研究水位的同震和震后效应,模拟记录优于数字记录。

从印尼巨大地震引起的水位上升和下降井孔分布看,上升和下降的井孔大部分都集中在由断层分割的同一个小构造单元里,印尼 2 次巨大地震引起的水位升降变化和构造存在明显的相关性。

水位的上升是含水层所受的应力增大后体积被压缩造成的,水位的下降是含水层所受的应力降低后体积膨胀造成的,有学者曾用水位的上升、下降变化反演应力场的变化(张昭栋等,1990,1994)。笔者也认为水位的上升和下降可能和应力场的变化有关,但这种应力场的状态不是云南的原始应力场方向等造成的。因为川滇地区现代构造应力场虽然比较复杂,但许多学者研究认为云南的原始应力场主要分为3个区:小江断裂以东是一个区;小江断裂以西、红河断裂以北和金沙江断裂以东的川滇菱形块体内是一个区;红河断裂以西又可以分为一个区(阚荣举等,1977;程万正等,2006;崔效锋等,2006)。从水位的上升和下降区分布看,与原始的应力场分区并不吻合。如澜沧江断裂以西地区原始的应力场方向基本是一致的,但印尼地震引起的水位变化被南汀河断裂分为北面上升、南面下降2个区。1999年台湾南投7.6级地震引起的云南水位阶变以上升为主(黄辅琼等,2000),而1983年日本秋田7.7级地震引起的云南水位变化在小江断裂带东西两侧和红河断裂带附近的水位变化却都是下降的(张昭栋等,1990),在静态应力场不同的区域出现了水位升降一致的现象,可能是地震波的作用改变了构造单元的应力状态所致。

大震引起的水位记录异常变化,主要是地震波在传播路径中,沿途井孔含水层对地震波的响应发生变化而引起的,一般以弹性变形为主,所以记录图上大量记录到的是和地震波形态相似的水震波。有一部分井孔由于水文地质条件的差异,在区域应力场和地震波传播的附加应力场的叠加作用下引起在某一地块或断裂上的含水层的震后水应力调整,因此出现了上升或下降变化,且上升和下降井孔与构造有一定的关联。

印尼2次巨大地震都发生在苏门答腊断层上,震源机制一致,均为逆断层。云南地区水位同一井孔对其响应的记录图像除幅度外,形态完全一致。可见,同一井孔对同一断层上破裂方式一致的地震的响应方式是完全一致的,只是震级大的响应幅度大,震级减小,水位响应幅度也相应减小。

参 考 文 献

- 程万正,阮祥,张永久. 2006. 川滇次级地块震源机制解类型与一致性参数[J]. 地震学报,28(6):561—573.
- CHENG Wan-zheng, RUAN Xiang, ZHANG Yong-jiu. 2006. Types of focal mechanism solutions and parameter consistency of the sub-blocks in Sichuan and Yunnan provinces [J]. Acta Seismologica Sinica, 28(6):561—573 (in Chinese).
- 崔效锋,谢富仁,张红艳. 2006. 川滇地区现代构造应力场分区及动力学意义[J]. 地震学报,28(5):451—461.
- CUI Xiao-feng XIE Fu-ren ZHANG Hong-yan. 2006. Recent tectonic stress field zoning in Sichuan-Yunnan region and its dynamic interest [J]. Acta Seismologica Sinica, 28(5):451—461 (in Chinese).
- 付虹,刘丽芳,王世芹,等. 2002. 地方震及近震地下水同震、震后效应研究[J]. 地震,22(4):55—66.
- FU Hong, LIU Li-fang, WANG Shi-qin, et al. 2002. Research on coseismic and post seismic effect of ground water for the local and near earthquake [J]. Earthquake, 22(4):55—66 (in Chinese).
- 黄辅琼,迟恭财,徐桂明,等. 2000. 大陆地下流体对台湾南投7.6级地震的响应研究[J]. 地震,20(1):119—125.
- HUANG Fu-qiong, CHI Gong-cai, XU Gui-ming, et al. 2000. Research on the response anomalies of subsurface fluid in

- mainland monitoring network to the Nantou earthquake with M_s 7.6 [J]. *Earthquake*, 20(1):119—125 (in Chinese).
- 阚荣举, 张四昌, 晏凤桐, 等. 1977. 中国西南地区现代构造应力场与现代构造运动特征的探讨 [J]. *地球物理学报*, 20(2):108.
- KAN Rong-ju, ZHANG Si-chang, YAN Feng-tong, *et al.* 1977. Present tectonic stress field and its relation to the characteristics of recent tectonic activity in southwestern China [J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 20(2):108 (in Chinese).
- 张昭栋, 郑金涵, 冯初刚. 1990. 日本秋田地震(1983年7.7级)引起中国应力场的震时调整变化 [J]. *地震学报*, 12(1):62—69.
- ZHANG Zhao-dong, ZHENG Jin-han, FENG Chu-gang. 1990. Adjustment variation of stress field in China with the Akita earthquake in Japan in 1983 [J]. *Acta Seismologica Sinica*, 12(1):62—69 (in Chinese).
- 张昭栋, 赵淑平, 董传富, 等. 1994. 井水位阶变与含水层所受体应力之间的定量关系研究 [J]. *地球物理学报*, 37(S1):222—229.
- ZHANG Zhao-dong, ZHAO Shu-ping, DONG Chuan-fu. 1994. Quantitative relationship between the step variation in well water level and the bulk stress in the aquifer [J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 37(S1):222—229 (in Chinese).
- 中国地震局监测预报司编. 2005. 中国地震局印度尼西亚苏门答腊 8.7 级大地震及其对中国大陆地区的影响 [M]. 北京:地震出版社.
- Monitoring and Prediction Department of CEA(ed). 2005. The Indonesia Sumatra earthquake with Magnitude 8.7 and its effect in China's mainland [M]. *Seismological Press*, Beijing (in Chinese).

ABNORMAL WATER LEVEL RECORDS CAUSED BY INDONESIA LARGE EARTHQUAKES IN YUNNAN AND ITS SIGNIFICANCE

FU Hong WU Cheng-dong LIU Qiang WANG Shi-qin CHEN Yan

(Earthquake Administration of Yunnan Province, Kunming 650224, China)

Abstract

Two large earthquakes occurred continuously in the sea northwest of Sumatra, Indonesia, on 26 Dec. 2004 and 29 Mar. 2005. The observation of water level in Yunnan recorded abundant information about the two earthquakes. This paper presents the water level response to the two earthquakes in Yunnan and makes a preliminary analysis.

The present digital water level recording may possibly lose some information, so large earthquake caused abnormal change of water level recorded by analog recording is clearer than that by digital recording. The well water level rise or decline caused by the two large earthquakes respectively was centralized in a small tectonic unit divided by large faults in Yunnan, and the change of water level rise or decline is evidently correlated with geological configuration.

Water level rise or decline may be correlated with the change of regional stress field, but it wasn't caused by the change in direction of original stress field. The recent tectonic stress field in Yunnan is mainly divided into three areas. The first area is located east of Xiaojiang Fault; the second located in Sichuan-Yunnan Rhomboid Block, west of Xiaojiang Fault, north of Honghe Fault and east of Jinshajiang fault; and the third located west of Honghe Fault. Water level rise or decline areas caused by Indonesia large earthquakes are not consistent with subareas according to direction of original stress field. The direction of stress field west of Lancangjiang Fault is basically same, but the change of water level caused by Indonesia large earthquake is divided into two sections by Nandinghe Fault, the north rises and the south declines. We think the reason for water level rise or decline is possibly that the seismic wave changes the stress state of the tectonic unit.

Abnormal change of water level caused by large earthquake is mainly attributed to well water bearing bed responding to seismic wave. The change is mainly elastic deformation, so the records are mostly water wave-like as seismic wave. Because of difference of hydrogeologic conditions and effect of regional stress field and seismic wave additive stress field, the water bearing bed appeared to be in a stress adjustment stage after earthquake in a block or a fault. So in some wells, changes of water level rise or decline appeared, and the changes are also correlated with geological configuration.

The two Indonesia large earthquakes occurred along the Sumatra Fault, its focal mechanism is similar to reverse fault. The shape of recordings of water level response to the two earthquakes in a same well is very similar except amplitude. So we inferred the water level response mode in same well is completely same for earthquake occurring on same fault and its fracture mode is similar, the difference is just that the response amplitude increases with the growth of magnitude.

Key words Indonesia large earthquake, abnormal water level in Yunnan, mechanism discussion

[作者简介] 付虹,女,1963年生,1984年毕业于云南大学地球物理专业,研究员,主要从事地震综合预报研究与实践工作,电话:0871-5747027, E-mail: fuhong@public.km.yn.cn.