

海平面变化和地震前兆*

段华琛

(上海市地震局)

摘要

通过消除对海平面资料主要周期和非周期因素的影响,订正海平面表征了验潮站地区相对的地形变信息。从渤海地区三次大地震的震例分析表明,大震发生前订正海平面的形变前兆相当明显,并表现出对中期预报具有一定意义的形变特征。订正海平面还能检出与中小地震有关的形变前兆的信息,文中并举出预测前兆形变成功的实例。

一、前言

在地震前兆研究中,海平面资料分析可以和微震观测、水准观测、光电测距、精密重力测量等工作一起为检测地壳变动提供可靠、有用的资料。连续的海平面资料作为水准测量工作的补充,不仅可以了解各验潮站地区之间高程的相对变化,而且还可以了解地壳形变的过程,并由此检测出地壳异常变动的时间范围。从地震预报的角度来说,这显然是有一定意义的。

地壳形变和地震发生之间的关系不是确定的、完全对应的。但根据资料统计,对绝大多数较大地震都伴随发生有垂直形变。而对于我国沿岸地区的较大地震,可以说还没有发现不发生垂直形变的震例。

验潮站海平面资料好比一个系统的输出,这个输出是验潮站附近水域对各种输入——各种天文周期引力、气象、水文等周期变化及其非周期变化、地球自转速度变化、地壳变动等响应的总和。我们可以通过用不同的方法分离出海平面对主要的周期和其它非周期变化的响应,而得到地壳形变引起海平面相对变化的部分,借以了解地壳变动的过程并研究其与地震发生之间的关系。

二、地形变信息的提取

作为系统的输出,验潮站海平面变化是各种周期性变化和非周期性变化的合成。

根据对长江口地区以及黄海、渤海沿岸八个验潮站的周期图分析和周期信号检验^[1]的结果,海平面变化年以下周期性分量主要有: 年、半年、 $\frac{1}{3}$ 年、 $\frac{1}{4}$ 年、月周期(30天左

* 1982年8月31日收到初稿,1983年7月12日收到修改稿。

右)、半月周期(14天左右)、 $\frac{1}{3}$ 月周期(9.6天)、 $\frac{1}{4}$ 月周期(7.7)等周期分量。显然,我们取月平均海平面作样本数据就基本上消除了月和月以下周期分量的影响。由于周期分量是确定性的,上述周期分量必然包含在海平面的年规则变化之中。因此,对验潮站较长时期的海平面资料通过定量统计可以得到海平面年规则变化,再把各月平均海平面值扣除年规则变化的部分,就基本上消除了年和年以下的周期分量的影响,在实际计算中已得到了这一结果。分别对吕泗、中浚、龙口、石臼所等站海平面资料进行频谱分析制成周期图,以及对各站消除年规则变化以后的残差作周期图分析计算。可以看到,原先所存在的这些年、半年、 $\frac{1}{3}$ 年等周期分量谱峰值,在消除年规则变化后残差的周期图中都消失了(图1, 2)。至于年以上周期分量,由于其能量很小,根据对上述八个验潮站的频谱计算^[1],其中最大振幅一般将近一厘米左右,所以它们对海平面资料的分析影响很小。

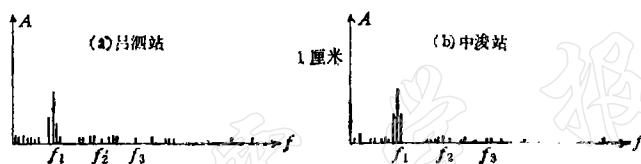


图1 月平均海平面周期图

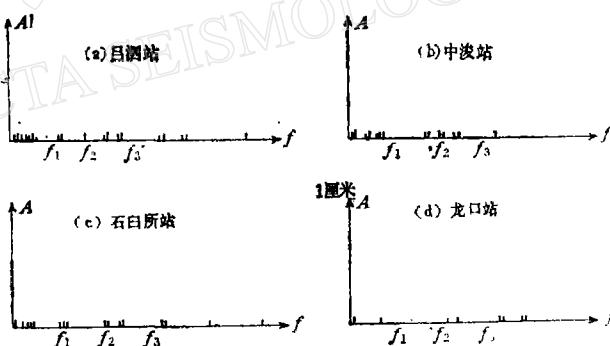


图2 消除年规则变化后残差周期图

消除了年规则变化以后的海平面残差对于一定范围内的验潮站来说非常相似(图

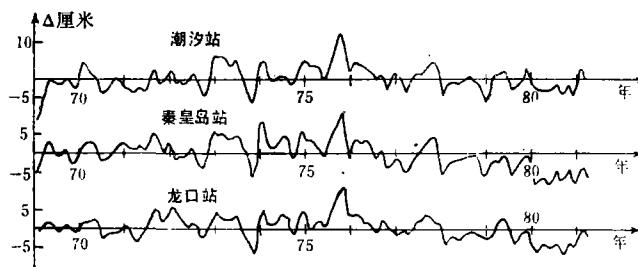


图3 三站残差图

3). 显然,这是大范围地壳变动和气象、海况等非周期变化场效应的结果。所以,对于一定范围的海区,取出其中有代表性的验潮站,把它们消除年规则变化后的残差取平均,然后对海区内各验潮站的残差进行该项订正,最后得到的订正海平面就基本上消除了其它的(即气象、水文等)主要非周期变化的影响,而主要表示验潮站对于该海区地面相对变化所引起的海平面相对变化。

以资料准确可靠为前提,又考虑到海平面变化的代表性,渤海地区取潮汐站、秦皇岛、龙口验潮站(1969—1980)海平面资料计算消除年规则变化后的残差的平均值,来对渤海区气象、海况等非周期变化的场效应进行订正,对该三站的订正结果见图4、图5和表1。

表1 经静压订正消除年规则变化后残差的标准偏差 M_1 及订正海平面标准偏差 M_2

站 号	潮 汐 站		秦 皇 岛 站		龙 口 站	
	M_1	M_2	M_1	M_2	M_1	M_2
年	2.52	1.29	3.04	1.04	2.35	0.80
月	5.02	2.02	5.29	1.48	4.43	1.72

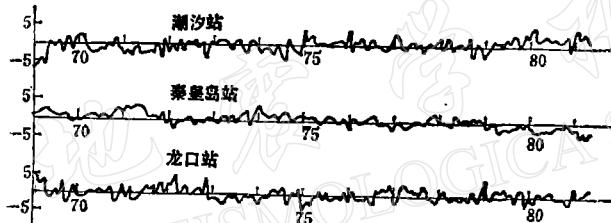


图4 月订正海平面

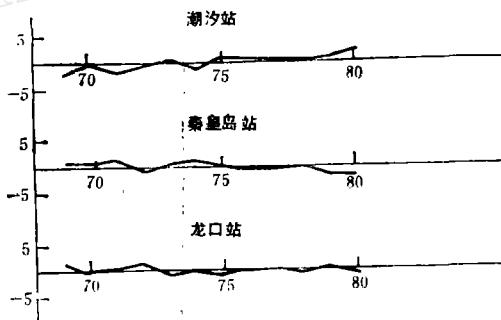


图5 年订正海平面

计算结果月和年订正海平面的标准偏差比原先减小了 50—70%。上述订正结果(尤其是年订正海平面)明确显示了验潮站对于渤海区地面相对变化的信息。

三、大震之前的海平面变化

海平面年变化值基本上消除了年和年以下的周期以及非周期变化的影响,一般可以表示地壳变动的信息。图6 海平面年变化曲线清楚表明,自1969至1975年,渤海、黄海沿岸海平面趋势上升,相应地反映出沿岸地区趋势下降。这和大地测量结果分析渤海地区地

壳运动基本上表现为四周向渤海倾斜^[2]的结果一致。1969年7月18日渤海7.4级地震、1975年2月4日海城7.3级地震、1976年7月28日唐山7.8级地震就是在这大范围构造运动的背景下发生的。从1969年至1973年海平面均值变化幅值来看，营口站为+7.3厘米，潮汐站为+5.6厘米，秦皇岛站为+2.5厘米，塘沽站为+9.2厘米，龙口站为+0.3厘米，烟台站为-3.2厘米。其中营口站和塘沽站变幅最大。而营口站和塘沽站正是距离

二次地震震中最近的验潮站（该二站距离二次地震的震中距分别为50公里和70公里）。据有关资料论述^[3]，在1969年渤海大震前，1964—1968年间各站年平均海平面的变化量值：营口站为-8厘米，秦皇岛站为-11厘米，塘沽站为-23厘米，龙口站为-12厘米，烟台站为-11厘米。其中变幅较大的是塘沽站和龙口站，也就在距龙口站100公里的海中发生了7.4级地震。在海城地震前一年（1974年），营口站海平面平均值呈反向变化，在唐山地震前一年（1975年），塘沽站年平均海平面也呈反向变化，因此，使塘沽站海平面年变化不同于渤海、黄海大范围的海平面变化——在1974年（而不是1975年）出现海平面高峰值。在渤海地震前二年（1967

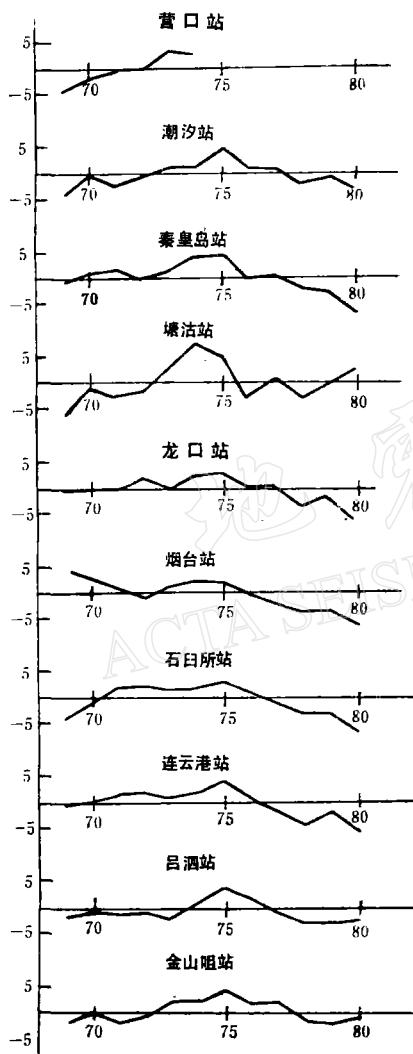


图 6 静压订正海平面年变化

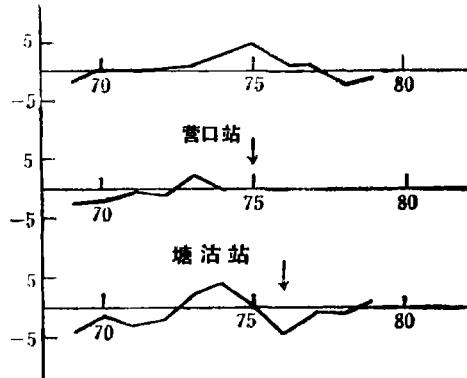


图 7 海区平均残差和年订正海平面

年），龙口站年平均海平面也改变了原来下降的趋势发生反向变化^[3]。这些情况表明，在大地震发生之前，震中附近地区地壳发生长趋势大幅度的变化，在地震发生前一至二年，地壳变动还会改变原来的趋势呈反向变化。这结果进一步由订正海平面所揭示的地形变情况所证实。

把营口站、塘沽站消除规则变化后的海平面资料对本文第一部分所得到的渤海区气象、海况等的非周期变化的场效应影响进行订正。订正结果见图7和表2。

表2 营口站、塘沽站年订正海平面

站号	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979
营口站	-2.10	-1.79	-0.11	-0.73	2.45	-0.02					
塘沽站	-4.16	-1.11	-2.84	-2.13	2.22	4.34	0.57	-4.25	-0.47	-0.92	1.05

从表征地形变信息的上述年订正海平面数据和图7可看出,海城、唐山大地震前震中附近验潮站地区固有的相对地形变仍然呈现趋势上升,且有较大的形变幅度,趋势变化历时五年以上。从年订正海平面表明,营口站和塘沽站分别在大地震前一年(1974和1975年),在达到最大幅值以后,发生较大幅度的反向变化(营口站为-2.47cm,塘沽站为-3.77cm)。

为了检测1969年渤海大地震地形变前兆信息,计算龙口站和相邻验潮站烟台站(该站距渤海大震震中约170公里),海平面的差值作为订正海平面,计算结果见图8和表3。

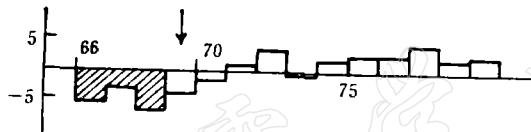


图8 龙口—烟台年订正海平面

表3 龙口站和烟台站海平面年变化差值

年	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972
龙口—烟台	-5.6	-3.0	-6.8	-3.9	-1.5	0.7	3.2
年	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979
龙口—烟台	-0.3	1.7	2.5	2.6	4.4	1.8	2.5

相邻二站海平面的差值主要反映二站之间的相对地形变化,其中也包含局部地区对其他因素的随机响应的差异。因此,量值较大,其标准偏差也较大,达3.4cm。尽管如此,从图8和表3可清楚地看到,1969年大地震发生之前,龙口站相对于烟台站的地形变也仍然呈现趋势性下降的大幅度变化。在地震发生前二年,订正海平面在达到最大幅值以后呈现较大幅度(2.6cm)的反向变化。如果我们简单地把该订正海平面幅值的平方表征主要是由于地壳形变以及由于其它因素所产生的海平面变化的能量,那么通过计算可以发现,震前三年主要是由于地形变所产生的能量之和,大大超过了震后11年能量的总和。所以,从上述分析可知,在大地震以前震中附近地区验潮站海平面资料的形变前兆是相当明显的。我们通过对海平面资料的处理分析,检测出地壳异常变动的情况和过程。

对海平面资料进行处理分析,有时还能检测出和较小地震有关的地形变信息。例如,对黄海沿岸石臼所、连云港、吕泗验潮站海平面资料进行电子计算机计算订正,得到的结果见图9和表4。1975年9月2日在距吕泗站70公里左右的郎家沙发生了5.3级地震。有趣的是,尽管吕泗站订正海平面表征的地形变信息量较小,但我们可以清楚地看到,从1969—1973年,吕泗站订正海平面有趋势性变化(其方向和海平面年变化趋势相反),在

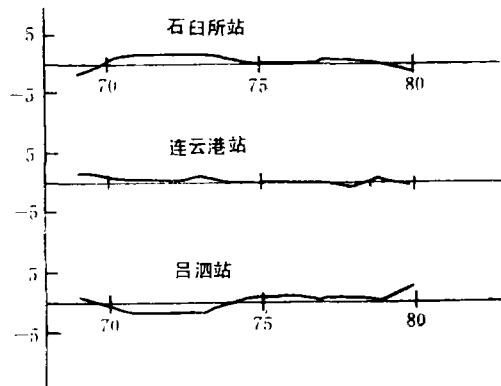


图 9 年订正海平面

1973 年达到最大幅值 -1.90cm , 而在地震前一年(1974 年)发生反向变化, 然后于 1975 年发生 5.3 级地震。另外, 笔者 1979 年曾注意到石臼所、连云港、吕泗三站海平面资料自 1975 年以来呈现的明显的地形变趋势变化^[4], 1981 年下半年根据三站之间年海平面变化

表 4 黄海沿岸验潮站订正海平面

站号	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980
石臼所	-2.13	-0.36	1.37	1.13	1.40	0.72	-0.37	-0.24	0.28	0.25	-0.47	-1.58
连云港	1.37	0.40	0.47	0.23	0.50	-0.01	-0.02	-0.73	-0.61	-1.06	0.37	-0.90
吕泗	0.75	-0.03	-1.84	-1.37	-1.90	-0.71	0.39	0.98	0.33	0.81	0.10	2.49

明显不连续(吕泗站海平面改变了原来下降的趋势), 在有关学术会议上曾提出要注意连云港站和吕泗站之间沿岸一带的断层活动。1982 年 3 月 13 日对三站进行了上述的电子计算机计算订正。在三站海平面自 1975 年以来趋势下降的背景下连云港站和吕泗站海平面明显显出不连续变化, 且吕泗站订正海平面表现为趋势上升, 而 1980 年吕泗站附近地面发生突变, 年订正海平面出现验潮史以来的极值 2.49cm 。因此, 3 月 13 日当天笔者向有关人员提出在连云港站和吕泗站之间靠近吕泗站一带有可能发生震情, 结果 1982 年 4 月 22 日 7 时 52 分在江苏省弶港附近(距吕泗站 100 公里)发生了 4.8 级地震。

地震观测表明, 弶港 4.8 级地震的微震前兆也较清楚。1981 年小震活动的频数比 1980 年明显增加(约增加 50% 左右), 而在 1982 年 4 月 22 日 4.8 级地震发生之前, 又出现一个半月的时间的异常平静状态, 这种平静状态本身就可能是某种前兆信息。

在日本也有用海平面资料检测出较小地震发生前地壳变动信息的实例^[5]。1976 年东京大学把地震研究所用油壶和怡土站的海平面差值检测出伊豆半岛东部地壳隆起的过程, 并结合其它前兆手段综合进行分析, 于 1976 年 5 月将前兆异常公布于众, 结果于 1976 年 8 月 18 日发生了河津 5.4 级地震。

上述例子说明对海平面资料分析处理, 也能为检出中小地震形变前兆提供有用的资料。中小地震比大地震发生的概率要大得多, 所以, 对地震前形变前兆规律的研究具有重要意义。

四、结 束 语

从本文论述和计算的结果可知：

1. 对海平面资料消除年规则变化的影响，并对其它因素的场效应进行订正后，得到的订正海平面消除了主要周期和非周期因素的影响，而反映出验潮站相对的地形变信息。
2. 在大地震发生之前，震中附近地区验潮站海平面资料的形变前兆是明显的，并有一定的规律性。一般在大震发生前 5 年左右，海平面及其订正值呈现趋势性大幅度的变化。而在大地震前一年（或二年），当反映地形变的订正海平面达到极值（历史上少有的幅值）后即呈现较大幅度的反向变化。显然，这现象很可能对于地震的中期预报来说具有重要的意义。前面已经提到，地形变和地震的发生不是完全对应的，因此，对于未来震情的估计，必须结合其它前兆资料进行综合分析，以便排除干扰，准确提取地震前兆信息。
3. 对海平面资料进行订正后，也能检测出中小地震（5 级左右）的前兆形变信息。当然，由于目前这方面震例较少，对其形变前兆的规律性还需要较多的震例进一步予以验证。
4. 需尽快加密江苏等省沿岸的验潮站。根据我国的具体情况，验潮站间距应以 100 公里（最大不超过 150 公里）为宜，以便掌握我国沿岸一带地形变的连续资料，对其中可能出现的孕震区进行有效的监视。

参 考 文 献

- [1] 段华琛，长江口地区验潮站海平面资料的周期图分析和周期信号检验，海洋科学，3，1982.
- [2] 国家地震局地震测量队，海城 7.3 级地震的地形变，地球物理学报，20，4，251—263 1977.
- [3] 国家海洋局地震预报组，平均海平面变化与地震的关系，地震学报，1，1，1—8 1979.
- [4] 段华琛，华东沿岸地区海平面变化及其订正计算，地震科学研究所，3，55—59 1981.
- [5] 津村建四郎，本州中部伊豆半岛的异常地壳活动，地震前兆（C. 基斯林格和铃木次郎主编），地震出版社，31—42，1980.

SEA LEVEL CHANGES AND EARTHQUAKE PRECURSOR

DUAN HUACHEN

(Shanghai Seismological Bureau)

Abstract

Data of sea level changes corrected for the influences of periodic and non-periodic factors show relative crustal deformation in the areas of tide gauge stations. By analysing these data for three large earthquakes occurred in the Bohai bay-area, it may be seen that the variations of sea level before large earthquakes are fairly obvious. They appear to be significant for medium-term prediction of large earthquakes and also give precursory information before moderate and small earthquakes. This paper gives successful examples in predicting certain earthquakes.