

长江口平均海面的初步研究*

陈宗镛 黄蕴和[†] 周天华 汤恩祥^{††} 于宜法 田晖

(青岛海洋大学, 266003)

([†]上海船舶运输研究所, 200135)

(^{††}中国人民解放军 57653 部队, 西安, 710054)

提要 从长江口附近 4 个验潮站过去 20—35 年的海面计录分析出海面变化, 总趋势是上升的, 其量值大约为 1.0—1.2mm/a, 该速率已相对于吴淞零点地面沉降作了订正。研究结果表明, 采用不同方法和采取不同时段作计算, 所得结论有一定的差别。我们只采用具有 20 年以上连续资料的验潮站作计算, 它和东海其它站作比较, 其变化率是合理的。在厄尔尼诺年, 年平均海面下降大约 8—10cm, 这表明厄尔尼诺现象能使长江口年平均海面发生异常。

上海是一个著名的河口港, 船舶进出同潮水升降关系密切。潮水升降的实质就是潮波在平均海面上下振动、传播。若平均海面下降则航道变浅; 若平均海面上升, 则会导致海水入侵、耕地盐碱化、市区排水困难等一系列问题。因而, 平均海面的变化是一个重要环境因子, 它的变化规律如何, 直接影响和制约着上海地区人民的生产和生活。

长江河口现在是一个径流量丰沛、含沙量多、潮汐强度中等的多叉道河口。长江口潮波从东南方向传来。进潮量, 枯季小潮为 $13 \times 10^8 \text{m}^3$, 洪季大潮为 $53 \times 10^8 \text{m}^3$, 两者相差近 4 倍。但平均说, 当口外潮差接近平均值, 而上游径流量接近年平均量时, 河口进潮量可达 $266 \text{300m}^3/\text{s}$, 约为年平均径流量的 9 倍^[3]。它表明, 长江口附近水体流动, 潮流占绝对优势。正是长江口地形变迁、下泄径流量的季节变化和潮波的传播, 影响着平均海面的变化。本文讨论从江阴到口门约 210km 河段(图 1)平均海面的变化。

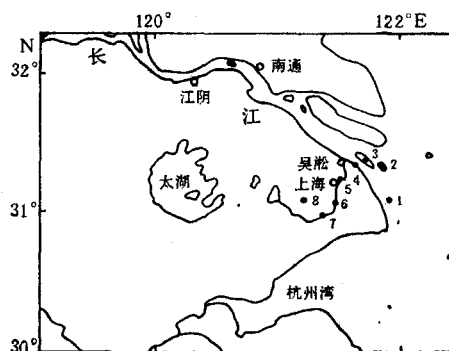


图 1 长江口站位图

Fig. 1 Stations of the Changjiang River estuary

1. 中凌; 2. 横沙; 3. 长兴; 4. 高桥; 5. 黄浦公园; 6. 吴淞; 7. 米市渡; 8. 佘山基点。

一、吴淞验潮站和水准点

研究平均海面的资料, 取自验潮站的潮位记录。在这一地区历史最长的吴淞验潮站

* 本研究得到国家自然科学基金委(9488007)、中国科学院«87-45-03»项目的资助。

收稿日期: 1990年1月3日。

(121°30.5'E, 30°23.5'N)位于黄浦江流入长江口的左侧。该站潮位观测时间从1912年开始,尽管站位有变迁,但潮位高度都从“吴淞基面”算起。1937年8月到1943年12月8日停测长达6年零3个多月。目前,验潮井有两个:一个井安装验潮仪,自动记录潮位;另一个井装“潮位钟”,可向外直接显示出瞬时的潮位高度。

验潮过程所采用的水准点是“B.M.1-144”。该点兼作基本点和校核点之用。验潮水尺零点(也叫吴淞零点或吴淞基面)到水准点的垂直距离为3.717m。吴淞基面是我国最早确定的高程基准面之一;开始确定时,不是在现在的吴淞,而是位于其上游3.6km的张华滨。

1860年在张华滨岸边设置了“吴淞信号站”,树立起水尺和信号杆,悬挂水位标球。1883年初,在水尺旁设置基准标石,顶上刻“+”字记号,它的标高为当时曾测得的最低水位以上5.182m。经过1871—1900年的水位观测,在1900年左右制定了一个比当时曾经测到的最低水位略低的高程作为该站水尺零点。当时,定名为“吴淞海关零点”(Woosung Customs Zero),以后又正式命名为“吴淞零点”(Woosung Horizontal Zero,简称为W.H.Z.)。

在1900—1910年间,实测最低水位平均值为吴淞零点上0.49m。1900年10月一次降到吴淞零点上0.06m,1903年12月一次降到0.09m。

1909年高桥新航道整治成功,同年9月15日起完全不使用老航道。于是,原先设置的“吴淞信号站”自然也失去作用。

1912年1月,上海浚浦局在黄浦江吴淞口的工作港池内设立自记验潮站,它的测量零点从张华滨引测过来,27日开始记录。1918年12月24日,又因工作港池泥沙淤积,水位站迁移到黄浦江边。1933年秋,对水位站翻修改建,并安装验潮仪,进行验潮。1944年在水位站引桥旁的海塘上设立永久性水准基石并命名为吴淞水准点,即“B.M.1-144”。

为了稳固而精确地建立起吴淞高程基准面,经过1913—1919年多次联测,在沿黄浦江及浦东地区南、北环线完成水准联测的基础上,于1921年4月由闵行水准基点出发,向佘山引测,5月底测到佘山天文台门口牌楼底座。随后,于1922年6月在佘山天主教堂前岩石的石壁上建立佘山基准点。当时测得的佘山基点的高程,位于吴淞零点以上46.0647m。佘山位于上海市松江县的西北面,是一个与上海距离最近的山地,它的地势相对稳固。

应该指出,引用吴淞零点作为高程基准面是不符合我国习惯的。高程基准面一般以海拔为起算面,这个面应为海平面,而不应该取水尺零点。如上所述,吴淞水尺零点是取吴淞水位站的略最低低潮面,它与海图深度基准面相当。

根据朱国贤¹⁾:

$$\begin{aligned} \text{佘山基点的高程} &= 44.4350\text{m}(1956 \text{ 黄海平均海面上}) \\ &= 46.0647\text{m}(\text{吴淞零点上}) \end{aligned}$$

两者相差1.630m。即1956年确定的黄海平均海面在吴淞零点之上1.630m。将它换算到1985国家高程基准面,应为1.659m。即:

1) 朱国贤,1985。长江口基面考证,上海航道局设计研究所。

吴淞零点以上高程值 $-1.659\text{m} = 1985$ 国家高程基准值算起的高程值

注意到上海市地区底面沉降,吴淞水尺零点亦随同下沉。因此,必须根据航道部门和城建部门的精密水准测量,调整水尺零点,将两次水准测量的沉降量值按时段平均分配,对实测潮位进行修正。因此本报告所提供的海平面变化并不是“相对”于验潮站水准点的海平面,而是以佘山为基准的长期海面变化。

二、平均海面的分析原理和方法

研究平均海面的基础数据,取自长江口水位站的资料。实测水位通常记录下潮汐和非潮汐成因所引起的多种振动,以及径流和天气系统变化导致的增-减水效应。计算平均海面一般对连续水位离散化,然后对它进行低通滤波。比如,可在时间域内给定一个数字序列 $l(k)$,用它对水位序列 $\zeta(t+k)$ 作卷积运算,求得某时段的平均海面的量值。

长江口某站、某时段的平均海面,代表该站一定水域范围内潮汐、径流、气象和气候、海洋水文、海洋动力学等因子平均综合作用的特征海面;它可用该站水位的一个统计量表示。这个统计量就是该站某时段水位高度的平均值或一阶原点矩。

许多国家常取 19 年每小时的数据求得的平均海面作为该站的海平面,它具有相对稳定的特点。因为,它既大致消除了季节变化和多种波动,也消除了年周期和反映月球轨道升交点西退对潮位的影响;而米顿和沙罗周期等对潮位的效应也基本上被消除了。当然,地层、地壳变化导致水准点的变化,应另作处理,尽可能地消除它们的影响。

万国洪等曾详细地论述了计算日均海面的多种方法^[2]。我们亦取青岛验潮站 1952—1979 年每小时潮位资料,采用 5 种公式作 18.61 年和 19 年时段的滑动平均,后者的结果为:

M_0	X_0	Z_0	N_0	G_0
242.88	242.88	242.90	242.89	242.89cm

这里 M_0 是 24 小时平均; X_0 是按杜森公式计算所得的结果; Z_0 是罗斯特公式; N_0 是本文第一作者提出的公式; G_0 是戈登公式计算结果^[4]。由此可见,用 20 年以上的资料,不管采用哪种公式,在毫米级这一位数都是一样的。我们取吴淞站 1951—1987 年总共 37 年的资料和其它站多年的资料作分析计算。

有了年均海面之后,容易求出年距平值随时间的变化。它可看作是由缓慢变化的长期趋势项和已知或未知周期性分量,以及随机分量组成的。长期趋势项可用回归分析等方法求得。距平值扣除长期趋势项的成分,得到一个新的有序集合,然后可用本征分析和谱分析等方法进行研究。

三、长江口平均海面的变化

1. 日均海面

日均海面的变化表面上看杂乱无章,可视为随机变量。它是潮汐、径流、降水和风速、风向、气压等因子作用的综合效应。其响应相当快。在通过平滑处理后,仍能显示出大潮期日平均海面高、小潮期日平均海面低的特点。日均海面逐日变化有时颇大:

1986年8月28日	267cm	1987年11月28日	267cm
1986年8月29日	207cm	1987年11月29日	207cm

由此可见,一日之间可变化 60cm。这对停泊船、舰的安全构成一定的威胁,容易造成搁浅事故。

2. 月均海面

长江口月均海面主要是由本区域及其邻近海域的季风场、气压场、气温场、水文气象场导致的海水比容场、潮汐月变化以及长江径流的多寡决定的。4个站的月均海面量值见表1。月均海面从里向外,呈下降趋势。若从吴淞算至横沙,2月份坡度为 0.273cm/km,8月份为 0.545cm/km。由此推知长江口月均坡度流,夏季比冬季大一倍。据胡辉估算,口门表面流7月份为 10cm/s,而11—12月只有 5cm/s^[3],与本文估算一致。从口门外向口门内的差值依次递增(表2)。这是因为口门内受陆地水文条件影响较大的缘故。

表1 长江口4个站月平均海面(cm)

Tab. 1 Mean monthly sea level at Changjiang River Estuary

月份	上海①	吴淞	长兴岛	横沙
1	185	180	178	174
2	187	184	179	175
3	193	190	186	180
4	202	198	193	186
5	213	210	203	195
6	225	221	215	205
7	236	228	223	211
8	238	233	226	215
9	241	236	227	217
10	231	225	217	209
11	219	207	200	192
12	193	187	182	178

① 上海以黄浦公园验潮站为代表。

表2 长江口4个站月均海面最大与最小值之差(cm)

Tab. 2 The difference of maximum and minimum mean monthly sea level at Changjiang River Estuary

上海	吴淞	长兴	横沙	平均值
56	56	49	43	43

对1951—1987年吴淞站的月平均海面进行谱分析,求得年平均振幅为 26cm,半年周期为 5cm。月均海面变化曲线,可用这两个分潮的合成近似表示。

月均海面变化的原因,首推长江径流量的影响;月均海面和径流量的变化过程相似,相关系数为 0.8—0.9。经分析,径流量变化约占月均海面年较差的 30%,即 15cm 左右。其次是水体比容的变化;按温度、盐度计算比容偏差,得知约占年较差的 27%,即 14cm 左右^[6]。气压效应约占年较差中的 25%,即 13cm 左右。这里取几个站的平均值与附近海域平均值之差作计算。季风效应会导致长江口的增-减水。风在海面的应力 $\tau = \rho_a C W^2$,

这里, ρ_a 是空气密度, 取 1.29kg/m^3 ; C 是风拖曳系数取 1.3×10^{-3} ; W 是风速(m/s)。一般可用其分量进行计算:

$$(\tau_x, \tau_y) = \rho_a C W^2 (\sin \theta, \cos \theta)$$

式中, τ_x, τ_y 分别为风应力的离岸分量和顺岸分量; θ 是风矢量与顺岸轴 y 之间的夹角, 一般取顺岸为正, 反之为负。

对长江口嵎山进行风应力计算, 1 月份的风应力顺岸分量 $\tau_y = -0.45 \times 10^{-5}\text{N/cm}^2$, 7 月份 $\tau_y = 0.20 \times 10^{-5}\text{N/cm}^2$ 。3—10 月份 τ_x 为负值, 其它月份为正值, 一般不大, 在 $0.1-0.15 \times 10^{-5}\text{N/cm}^2$ 左右。对 τ_x 作谐波分析, 年周期振幅为 0.625cm 、半年周期仅 0.067cm , 而 $1/3$ 年周期为 0.161cm 。

根据实测资料计算由风应力导致的增-减水, 约为 6cm , 也就是占年较差的 12% 。

以上 4 种因子即径流量变化、水体比容变化、气压效应和风应力效应使得月均海面发生变化量值为 48cm , 约占总年交差变化的 94% 。

3. 年均海面

长江口交点分潮变幅达 40 多毫米^[4], 为了消除其影响, 取 1951—1987 年每 19 年年均海面滑动平均(表 3)。总平均值为 205.6cm , 它代表 1951—1987 年吴淞站的平均海面。由此看出, 经平滑后的量值仍有波动, 但总的趋势是上升的。图 2 取上、下面积相等的线作计算, 年上升率为 2.4mm 。

表 3 吴淞站 19 年滑动平均海面(cm)

Tab. 3 19-year smoothed average of yearly mean sea level at Woosong station

年 份	平 均	年 份	平 均
1951—1969	204.5	1961—1979	205.4
1952—1970	204.3	1962—1980	205.6
1953—1971	203.7	1963—1981	205.9
1954—1972	203.6	1964—1982	206.6
1955—1973	203.5	1965—1983	207.1
1956—1974	204.0	1966—1984	207.5
1957—1975	204.9	1967—1985	207.8
1958—1976	205.2	1968—1986	207.8
1959—1977	205.7	1969—1987	208.4

我们取 1965—1987 年对中浚、横沙、吴淞和黄浦公园作计算, 该期间这四个站年均海面分别为:

196.1, 193.3, 207.1, 212.0cm

而取 1970—1987 年的年均值为:

197.9, 194.6, 208.8, 213.8cm

其中, 吴淞站 1987—1989 年 3 年年均值为 212.7cm 。

总之, 取不同时段和采用不同方法作计算, 其结果都不相同, 但海平面上升趋势是一致的。可以肯定, 吴淞站海平面近几十年间一直在

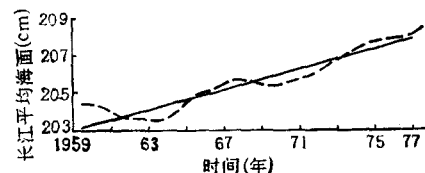


图 2 吴淞 1951—1987 年每 19 年滑动平均海面

Fig. 2 Annual mean sea level (1951—1987) in 19-year running means at Woosong

上升阶段。

年均海面呈非周期振动状态。在 1963, 1978 年这两年长江的径流量小, 分别只有 7 701, 6 760 亿 m^3 , 对吴淞站而言, 这两年的年均海面分别为 196, 201cm。为什么径流量和年均海面成反比, 这是因为 1963 年不仅年径流量小, 同时又是厄尔尼诺年; 而 1978 年却不是厄尔尼诺年的缘故。凡是发生厄尔尼诺的年份, 长江口的海平面均有下降的迹象^[5]。

参 考 文 献

- [1] 于克俊, 1985. 中国东部近海沿岸平均海面变化的分析. 海洋与湖沼 16(2): 127—137.
 [2] 方国洪, 余宙文, 1985. 关于日均海面的计算和应用. 黄渤海海洋 3(1): 1—8; 3(2): 1—9.
 [3] 陈吉余, 沈焕庭, 胡 辉等, 1988. 长江河口动力过程和地貌演变. 上海科学技术出版社, 1, 108 页.
 [4] 陈宗镛, 汤恩祥等, 1988. 国家高程基准的研究. 青岛海洋大学学报 18(1): 9—11.
 [5] 李 立, 1987. 我国东南沿岸海面对埃尔尼诺的响应. 台湾海峡 6(2): 132—138.
 [6] 浦泳修, 1988. 中国大陆沿岸月平均海面的季节性变化. 海洋学报 10(3): 270—278.

A PRELIMINARY STUDY ON MEAN SEA LEVEL OF THE CHANGJIANG RIVER ESTUARY

Chen Zongyong, Huang Yunhe[†], Zhou Tianhua,
Tang Enxiang^{††}, Yu Yifa and Tian Hui

(Ocean University of Qingdao, 266003)

([†]Institute of Shipping and Transportation of Shanghai, 200135)

(^{††}No. 57653 Unit of PLA. Xian, 710054)

ABSTRACT

The sea level change extracted from tide gauges situated at the mouth of Changjiang River exhibit a general rise of about 1.0—1.2mm/a during the past 20—35 years. The rates of the ground subsidence have been checked in order to ascertain the variation of Woosung Horizontal Zero. The study results suggest that by use of the different analysis methods and different time periods can obtain different conclusions in the estimates of mean sea level change. Only stations that had 20 or more years of data were used. Thus all the data had a reasonable mean sea level changes compared with the other stations of the East China Sea. In El Niño years, the yearly mean sea level are reduced by about 2—3 cm, it shows that the El Niño phenomena induced sea level anomaly at the Changjiang River Estuary.