

上海港台风风暴潮的初步研究

刘科成

(上海台风研究所)

上海是一个易受台风风暴潮灾害的港口。对于上海港的台风风暴潮，过去除少数的个例分析外，基本上没有进行过系统研究。本文根据黄浦公园验潮站1949—1981年7—9月潮位资料进行了分析；同时也考查了1905—1948年9次严重影响上海的台风风暴潮。

一、上海港的地形与潮位特征

黄浦江是一条流经市区的感潮河流。其潮型属不正规半日浅海潮，天文潮涨落明显，一日两次潮汛，每潮平均12.5小时。此外，农历每月有两次大潮汛（初三、十八）和两次小潮汛（初八、廿三）。

黄浦公园验潮站距河口25.4公里。多年平均高潮位3.11米，多年平均最高潮位4.48米，实测最高潮位5.22米，警戒水位4.40米。

黄浦江基本上是西南—东北向，所以偏东偏北风对增水最有利。黄浦江与长江口相通处有长兴、崇明和横沙等岛屿包围。因此江中水域呈封闭或半封闭式，不直接受外海自由长波影响而常有驻波振动。由于天文潮与增水的非线性相互耦合作用，尽管没有激烈的天气系统影响，也往往有增水和增水曲线的波动，其波动周期约12小时，振幅为30—60厘米，波峰常出现于天文潮腰附近。为了研究台风风暴潮增水，本文选择过程逐时增水极值 ≥ 1.00 米的台风风暴潮进行分析。

二、不同路径的台风风暴潮特征

如果不考虑长江径流和黄浦江上游流量对黄浦公园的潮位影响，只考查台风影响的增水情况，那么，资料表明，台风路径对黄浦公园验潮站的增水影响是极其重要的。现分三条路径加以考查。

1. 台风中心直接登陆上海（台风中心与上海的最近距离小于1纬距）这条路径对上海港台风风暴潮影响最严重。黄浦公园潮位记录史上最大的台风过程逐时增水极值为2.05米，就出现在这一路径中（1922年8月—9月5日的台风）。我们考查的37个台风风暴潮个例中，有10次逐时增水值超过1.80米，其中7次是这一路径。危害性最大的过程大高潮增水（实测最高潮位与相应的天文潮高潮位之差）极值平均为1.16米，而其他两条路径的平均值均为0.70米。

黄浦江的增水与天文潮有明显的相互耦合作用，故增水曲线呈波动型。但由于这一路径的台风中心靠近甚至直接通过上海市区，气象要素的激烈变化所引发的风暴潮增水值往往远胜过天文潮的影

响，其增水曲线呈现出标准型的特点（图1）。当台风中心到达浙江北部海面和上海偏东风第一个风速峰值出现后，初振阶段便开始。而当台风中心接近或到达上海时，激振便出现了。余振阶段时，上海一般都吹偏南风。因阻尼振动也会有不显著的增水存在，但往往很快出现明显减水（图1）。

台风中心经过上海前后，风向都有明显的突变（图1），而过程逐时增水极值总是出现于风向突变前的风速峰值之后，或者基本上是同步的（如7708号台风，图略），但常常在气压谷前6—11时，若台风中心通过市区附近，则过程逐时增水极值与气压谷值同时出现（见图1）。可见，黄浦江台风风暴潮增水与风切应力及气压下降均有关系。

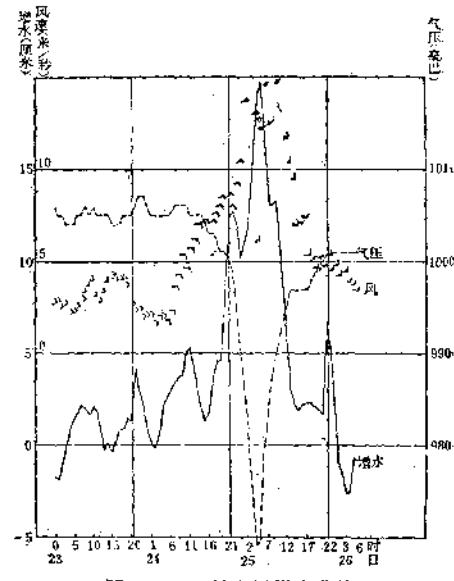


图1 4906号台风增水曲线

设 Δh 为过程逐时增水极值（米）， W_{NE} 为投影于东北方向的逐时平均风速（米/秒），P为气压。得到回归方程：

$$\Delta h = 0.0050 W_{NE}^2 + 0.0011 P - 0.1000$$

此方程的相关系数为0.90， $F = 46.71 > F_{\alpha=0.01}$ ，剩余标准差为0.12米。

2. 阴浙登陆台风 此路径台风在上海港所引发的风暴潮增水曲线一般呈波动型，只有登陆点离上海近的强台风，如5612号台风，其增水曲线才呈混合型（兼有波动型和标准型特征）。黄浦公园被记录

的大高潮增水1.60米，就是这个台风所引发的。但是，一般地说，这一路径的台风过程逐时增水极值和过程大高潮增水极值都不大。具体地说，上海港或黄浦公园验潮站的过程逐时增水极值的大小，与台风登陆点距上海的距离(r)成反比，与台风登陆时的中心降压值(ΔP)成正比。这一类台风过程逐时增水极值与 $\Delta P/r$ 的相关系数为0.86，而且都出现在偏东大风时。

另外，这一路径台风过程增水极值的出现时间，和登陆前后12小时台风移速有密切关系。一般说来，平均移速在15—25公里/小时，过程逐时增水极值出现于台风登陆前后3小时内(60%)。台风登陆前后移速越快，逐时增水极值出现时间越晚，相反，台风登陆时移速越慢，逐时增水极值出现越早。例如移速只有8—9公里/小时的7010号台风，逐时增水极值出现时间比台风登陆时间早10小时。

3. 海上转向(北上)台风 这一路径的台风对上海港(或黄浦公园)的风暴潮影响也首先与台风中心至上海的距离有关。离上海越近，影响越大。若台风中心在125°E以东转向或北上，对上海影响很小。但台风风暴潮增水曲线总是呈波动型(见图2)，并且增水极值大多数出现于偏北风风速变化曲线第一个峰值之后，气压谷前的时段内。可见，在此路径中，台风大风的切应力对上海港风暴潮增水起重要作用，只有当强台风中心很靠近上海时，上海港的气压下降对增水才有较大贡献。

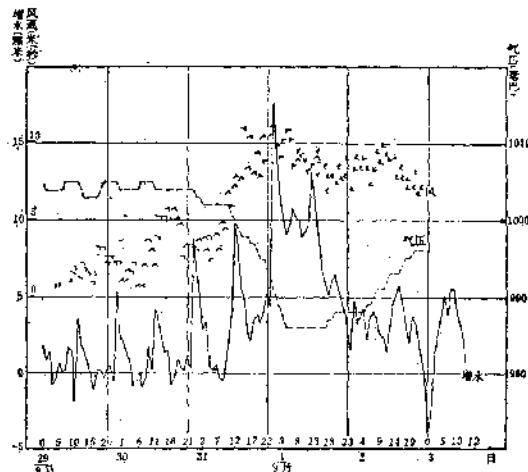


图2 8114号台风增水曲线

过程逐时增水极值出现时，台风中心位置多数集中于29—33°N、122—126°E范围内，但过程大高潮增水极值出现时，台风中心位置(图略)不集中。

三、增水值的计算

为了进一步从数量上找出上海港或黄浦公园台风风暴潮的增水极值(特别是最有实用价值的过程

大高潮增水极值)与台风风力与气压的关系，以利于诊断分析，本文应用经张述竹改进的动力增水一维方程^[1]

$$\Delta H_M = b \Delta P_0 \left(\frac{R}{r} \right) + a \quad (2)$$

对闽浙登陆和海上转向(北上)台风所引发的上海港过程大高潮增水极值(米)， r 为 ΔH_M 出现时台风中心与上海的距离(纬距)， ΔP_0 为相应时刻上海气压与台风中心气压之差(毫巴)， R 为台风最大风速半径(纬距)。若 R 无实测值可由气压场计算而得。 a 、 b 为常数。我们用上述两条路径历史资料求得 $a=0.2158$ ， $b=0.1472$ ，相关系数0.894，剩余标准差0.11米， $F > F_{0.01}$ 。因此，(2)式可写成

$$\Delta H_M = 0.1472 \Delta P_0 \frac{R}{r} + 0.2158$$

经验证，误差在±10厘米的保证率为76%，±15厘米的保证率为88%，±20厘米的保证率为92%，±30厘米的保证率为96%。

对于直接登陆上海的台风，可先由(1)式求出其过程逐时增水极值 Δh_M ，再应用由全部历史台风样本求得的过程逐时增水极值 Δh_M 与过程大高潮增水极值 ΔH_M 之间的回归方程

$$\Delta H_M = 0.6603 \Delta h_M - 0.1244 \quad (3)$$

求取 ΔH_M 。(3)式的相关系数为0.779，剩余标准差为0.17米， $F > F_{0.01}$ 。

求出台风大高潮增水极值，再和已知的天文潮高潮位进行组合，即可诊断出影响台风风暴潮的最高潮位。根据历史上最严重的台风风暴潮中诸气象因子的合理和可能的结合，可计算出上海港可能最大台风风暴潮。这对于上海港的防洪防潮工程的规划设计，有极为现实和重要的意义。

结语

上海港(或黄浦公园)的天文潮与增水的相互耦合作用是显著的。该港的台风风暴潮增水主要与台风路径有关。

台风中心直接登陆时，过程逐时增水曲线呈标准型。台风在登陆前后上海风向有突变。过程逐时增水极值出现于风向突变前的风速峰值与气压谷值之间。

闽浙登陆的极强台风所引发的上海港的增水曲线呈混合型。上海港的过程逐时增水极值与台风登陆点至上海的距离成反比，与台风中心的降压程度成正比。台风登陆时移速快，则过程逐时增水极值出现的时间在台风登陆后；反之，若移速慢，则过程逐时增水极值出现在台风登陆前。

海上转向(北上)台风，西移过125°E后，才能对上海港风暴潮产生明显影响，上海港的增水曲线呈波动型。过程逐时增水极值出现时，台风中心大多数位于黄海与东海交界处。

参考文献

- [1] 张述竹，台风增水一种预报公式的初步改进意见，风暴潮，1980年第1期。