

钱塘江河口洪水特性

徐有成, 黄世昌, 周建敏

(浙江省水利河口研究院, 浙江 杭州 310020)

摘要:钱塘江河口是强潮河口, 流域来水过大、下游潮位过高, 沿江即可能造成非常高水位。半个世纪以来, 上游兴修水库, 流域洪水已得到部分控制。河口地区大规模围涂, 河道趋于稳定。同时, 沿江对洪水、潮汐的响应特性有一定程度变化。上游水库拦蓄了一些小洪水, 汛前河道容积因此减小; 大规模围涂缩窄了河道, 加强潮波反射, 影响波及杭州湾湾口; 河道过水断面减小, 杭州 20 世纪 90 年代的平均高潮位比 80 年代高近 50 cm, 70 年代开始, 年最高水位超过警戒水位的次数几乎每 10 年增加 1 倍。

关键词:钱塘江; 河口; 洪水特性; 风暴潮; 河道冲淤

中图分类号: TV122

文献标识码: A

文章编号: 1006-7647(2003)05-0004-03

从富春江电站到澉浦长 194 km 的钱塘江河口是感潮河段, 通过富春江电站, 上承流域来水, 下游与杭州湾相接。钱塘江河口形势见图 1。钱塘江河口两岸平原地面普遍比一般高潮位低 2~4 m, 受上游洪水、下游潮汐以及台风暴潮的威胁。公元 775 年至 1949 年的 1100 年间, 钱塘江发生较大洪潮灾害 230 次, 平均每 5 年 1 次。咸水几度影响到嘉兴、湖州、吴

江一带。今日, 两岸平原仍依赖海塘保护, 海塘一旦出事, 将威胁 $6.7 \times 10^5 \text{ hm}^2$ 土地、每年 2 000 亿元产值基本设施, 以及 1 000 万人的安全。

钱塘江河口是强潮河口, 沿江洪水位因流域来水过大, 或因下游潮位过高, 或两者同时发生所造成。河口内堆积有庞大的沙体(称之为沙坎), 从闻家堰一直延伸到乍浦, 长 130 km。自然状态下, 河床大幅冲淤,

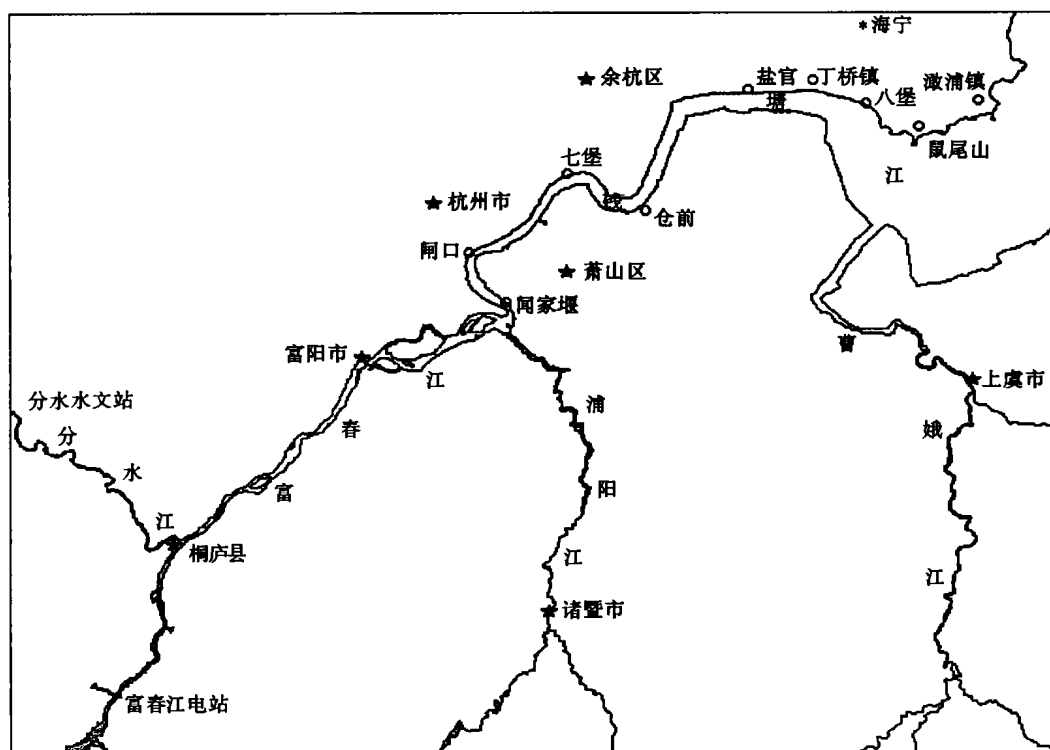


图 1 钱塘江河口形势

作者简介: 徐有成(1957—), 男, 江苏扬州人, 高级工程师, 主要从事河口海岸研究。

河槽急剧摆动,沿江洪水位随之变化.半个世纪以来,钱塘江支流新安江兴修水库,干流建有富春江水库.流域洪水部分已得到控制,河口大规模围涂,海宁八堡上游河道已趋稳定,洪水特性因此有所变化.

洪水、潮汐两者的起因、出现时间,以及河口河道状况不同,所造成水位高低、持续时间、影响范围均有较大差别.本文从这两个外部因素,以及河口河道特性、大型水利工程影响等方面来分析钱塘江洪水水位的特点.

1 潮汐的影响剧烈

钱塘江河口是强潮河口,洪水位受1d2次的天文潮和每年8月至10月的台风暴潮影响很大.

杭州湾是深入内陆的喇叭形河口湾.因岸线反射,激浦潮差比湾口增大126%,最大达8.93m.过激浦后,因潮差大、河床溯源抬升,潮差水深比值在1.5以上,潮波变形剧烈,在鼠尾山一带形成涌潮.自此,潮波的前锋以涌潮形式向上推进,同时,沿程潮差渐小,至富阳,涌潮已基本消失,潮汐影响波及富春江电站.在杭州湾内,台风暴潮所形成的增水亦同样增大,其增加的速率与天文潮雷同.

2 流域径流变幅大

钱塘江流域的降水主要是梅雨和台风雨.流域上游洪水主要是由梅雨造成的,下游洪水则还受台风雨影响.

经富春江电站每年进入河口的流域径流平均为 $300 \times 10^8 \text{ m}^3$,其中55%~60%集中于春季4个月中,洪水多发生在6月下旬到7月上旬,一次暴雨所产生的洪水总量可占年径流的30%~40%.

3 台风暴潮与洪水的发生次数

进入浙江省警戒线的台风平均每年3.6次,1年中最多7次,最少1次.对钱塘江河口影响大的是在浙江省登陆或途经舟山北上的热带风暴,平均每年0.75次,其中三门县以北登陆的台风影响尤为严重,平均每年0.5次.1970~1999年的30年间,洪峰值超过 $10\,000 \text{ m}^3/\text{s}$ 的洪水12次,平均每年0.4次,因此,大洪水与影响较大的热带风暴两者出现的频率大致相当.

4 洪水受大型水利工程控制

钱塘江流域开发较早,上游建有水库,下游大规模围垦,沿江已经兴建完备的堤塘.

流域兴建大中型水库55座,小型水库2000余座,总库容 $283 \times 10^8 \text{ m}^3$.新安江、富春江两座水库对

河口有直接影响.

新安江水库是干流惟一的多年调节水库.汛期水库水位在防洪限制水位106.5m以上时,根据防洪要求调度.富春江水库为日调节水库,仅有短期拦蓄错峰作用.

新安江水库建成后,钱塘江流量趋于均匀.3~7月梅汛期径流量减少20.6%,枯水期增加22.3%.遭遇大于 $15\,000 \text{ m}^3/\text{s}$ 的洪峰,水库下泄最大流量减小30%~50%.每年出现大于 $10\,000 \text{ m}^3/\text{s}$ 的洪峰次数,由建库前的1.9次减少到0.33次.

近40年来,河口地区围涂 $7.3 \times 10^4 \text{ hm}^2$.海宁八堡以上约60km的河道,宽度已缩窄到原来的1/2~1/4,主槽不再摆动.八堡下游尖山河段,主槽仍有摆动,或趋直走北,或趋弯走南.

5 上游洪水、下游潮汐对沿江洪水水位的影响

1997年7月9日遭遇“7·9”洪水,8月遭遇9711号台风,沿江各站水位相继创新高.从1997年两次沿江最高水位(图2)可以看出,河口分上下两段,下段历史最高水位是台风造成的,上段为洪水造成,分界点在闸口与闻家堰之间.

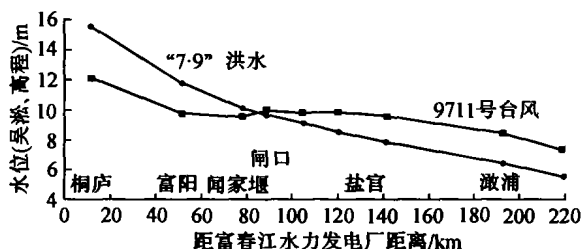


图2 1997年“7·9”洪水及9711号台风期沿江最高水位

沿江各地洪水位对洪水、潮汐的响应各有不同,大致分成上中下三段:

a. 以桐庐为代表的上段,洪水位基本决定于上游流量.沿程水位-流量关系桐庐最好,越往下游则越差.

b. 以盐官为代表的钱塘江下段,高潮位直接取决于潮汐强弱.在1年之中,盐官、激浦两站高潮位关系良好,由于尖山河段河道状况变化很大,两者多年的关系要差得多.盐官一带潮势尚强,流域洪峰流量比大潮涨潮流量小数倍,其影响可以忽略,只有上游洪峰流量相当大时才需考虑.

c. 钱塘江中段,潮汐和洪水对洪水位都有显著影响.

在河道、潮汐、峰型状况相同的条件下,上游峰量每增减 $1\,000 \text{ m}^3/\text{s}$,闸口洪水位相应变化0.07~0.1m.遇平胖型洪峰,洪前河道冲刷较多,洪水位要低0.5~0.7m,但高水位持续时间较长.

7413号台风期,台风暴潮与天文大潮相遇,乍浦到七堡沿线的最高潮位均超过1997年以前历史记录.1997年8月19日大潮期,遭9711号台风袭击,闸口水位达迄今最高值,该旬上游日平均流量仅为当年“7·9”洪水的1/3强,水位却抬升近30 cm.

河道容积大小同时左右沿程所受潮汐影响的强弱.河道容积对高潮位影响并不大,主要影响低潮位.容积越大,低潮位越低,沿程潮差增加,涌潮加强,盐水上溯越远.1993年和1995年,汛前河道容积均为 $4.5 \times 10^8 \text{ m}^3$,大潮期间,富春江电站下游还有潮汐所影响的水位波动.

6 河道冲淤对沿江水位有很大影响

钱塘江河口是游荡型河口,自然状态下主槽频繁摆动,河床大幅冲淤.随尖山河段主槽的走势改变,河口沙坎的高低、沿江洪水位随之变化.

尖山河段是已经治理的上游段和杭州湾之间的过渡段.洪强潮弱,河道冲刷,主槽趋直;潮强洪弱,则主槽趋弯,主槽因之南北摆动.不同河势下主槽长度可相差一倍,因此,主槽的长短直接影响了河口洪水位.

一般说来,河道淤积越严重,洪水造成的水位越高,潮汐上溯越近.1983年7月和1955年6月两次洪水,上游洪峰流量相差近3倍,但因河道容积相差3倍余,闸口水位仅相差8 cm;1995年6月、1997年7月两次遭遇同样相当5年一遇峰量的洪水,因河道容积相差颇大,闸口洪水位差1.22 m.

钱塘江河床泥沙易冲易淤.1996年11月到1997年4月间,河道淤积 $1.5 \times 10^8 \text{ m}^3$,“7·9”洪水历时仅3 d,即冲刷 $1.5 \times 10^8 \text{ m}^3$.洪峰之前的小洪水冲刷河床,降低了遭遇大洪水时沿江的洪水位.一般,初始容积大,洪水过程中冲淤的强弱影响较小;初始容积小,则影响较大.如不考虑河床的冲刷作用,1997年“7·9”洪水期间,闸口洪水位可能还要高1 m.

7 沿江洪水位有增高趋势

近几十年来,钱塘江沿江的洪水位有明显增高如图3所示.闸口站历年的年最高水位明显有所抬高,其中20世纪90年代的平均值比80年代高近50 cm.近50年来,闸口站每年出现的最高水位超过警戒、危险水位的出现次数显著增加(图3).70年代开始,年最高水位超过警戒水位的次数几乎每10年增加1倍.90年代和50年代洪峰、台风出现次数相当,但是,90年代超过警戒水位的次数却较50年代的多4倍.

整个钱塘江河口段也存在同样情况.韩曾萃等^[1]利用沿江6个站点1953~1998年计46年实测

资料,尽量排除如赭山、尖山两河湾主槽走势变化和径流丰、枯等因素,分析了大规模围涂对沿江高潮位的影响^[1].从表1和表2可以看出:①大规模围涂以后,沿江高潮位普遍抬高,以尖山河湾顺直走北的形势下尤其明显;②一般大潮期高潮位抬升较之小潮明显,每年最大的15个潮的抬升值比年平均值大15%~13%;③各站年高潮位大于某特征水位的次数明显增加.

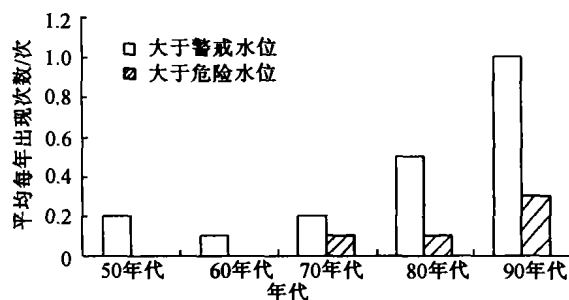


图3 闸口站大于警戒、危险水位出现次数

表1 大规模围涂后高潮位抬升值^[1]

站点	1年平均值		3年平均值		每年最大15个大潮统计抬升值	平均抬升值
	顺直	弯曲	顺直	弯曲		
闸口	0.81	-0.09	0.62	-0.04	0.59~0.83	0.71
七堡	0.82	-0.09	0.66	-0.10	1.02~0.74	0.87
仓前	0.52	-0.06	0.41	0.39	0.75~0.34	0.56
盐官	0.59	0.04	0.39	-0.18	0.89~0.64	0.73
澈浦	0.41	0.20	0.38	0.21	0.64~0.399	0.52
乍浦	0.29	0.38	0.28	0.22	0.41~0.26	0.36

表2 大规模围涂前、后高潮位出现次数比较

站点	高潮位范围/m	出现次数/次		前后出现次数比
		1955年	1995年	
闸口	>8.0	7	26	3.7
	7.5~8.0	8	65	8.1
七堡	>7.5	7	92	13.1
	7.0~7.5	27	127	4.7
仓前	>7.0	65	163	2.5
	6.5~7.0	102	120	1.2
盐官	>6.5	30	181	6.0
	6.0~6.5	121	141	1.2
澈浦	>8.6	2	6	3.0
	6.0~6.5	31	61	2.0
乍浦	>5.5	18	44	2.4
	5.0~5.5	89	137	1.5

20世纪60年代开始钱塘江大规模围涂治江,至今取得很大成绩,但是,围区加剧了下游潮波反射,澈浦、乍浦的高潮位分别抬高0.52 m和0.36 m;同时,河道容积大幅减小.1970年以后的汛前河道平均容积仅是这之前的65%,历年最大值还不及以前的平均值(图4).分析表明,近50年来闸口水位与澈浦高潮位、富春江电站下泄流量,以及河道容积三者的关系并没有显著变化,仅因河道容积减小,过水能力必然减弱.1997年“7·9”洪水峰量仅为1955年6月的56%,闸口洪水位却抬高0.6 m.

(下转第13页)

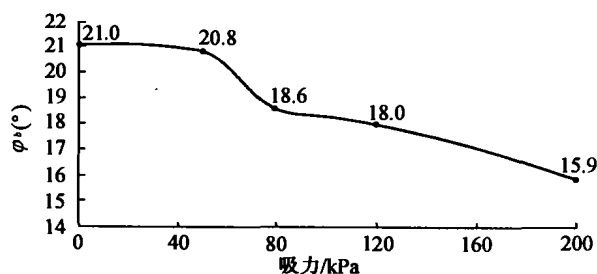


图6 不同吸力时的 φ^b 值曲线

用能够各自独立的参数变量来描述的非线性表达式. 如今强度参数 φ^b 不是一个独立的状态变量, 而是同参数吸力相关的. 因此, 现有的非饱和土强度理论公式需进行适当的修正, 使之参数成为各自独立的变量.

由试验结果可知, 修正后的理论公式可用下式表达:

$$\tau_f = c' + (\sigma - u_a) \tan \varphi' + A u_s^B \quad (7)$$

$$\text{或} \quad \tau_f = c' + (\sigma - u_a) \tan \varphi' + A_1 u_s^B \tan \varphi' \quad (8)$$

$$A_1 = A / \tan \varphi' \quad (9)$$

式中: A, A_1, B 为试验参数. 显然, 表达式中的变量都为独立的变量.

1.2.4 非饱和土有效应力公式

在上述基础上, 我们不难建立一个新的非饱和

土有效应力公式:

$$\sigma' = \sigma - u_a + A_1 u_s^B \quad (10)$$

2 结论

本文利用改进后的三轴试验仪, 运用轴平移技术, 通过试验研究了吸力对非饱和膨胀土的强度特性的影响, 得出如下结论:

a. 非饱和膨胀土的强度参数 φ^b 不是常量, 而是随吸力变化而变化的, 两者呈一定的相关关系.

b. 现有的非饱和土强度理论公式需进行适当的修正.

参考文献:

- [1] 刘国楠. 三轴试验中非饱和土试样吸力的量测[J]. 岩土工程学报, 1994, 16(5): 108 ~ 112.
- [2] Fredlund. 非饱和土的力学性能与工程应用[J]. 岩土工程学报, 1991, 13(1): 152 ~ 157.
- [3] 徐永福, 殷宗泽. 非饱和膨胀土的三轴试验研究[J]. 岩土工程学报, 1998, 20(2): 234 ~ 241.
- [4] 沈珠江. 非饱和土力学的回顾与展望[J]. 水利水电科技进展, 1996, 16(2): 1 ~ 3.

(收稿日期: 2002-10-17 编辑: 张志琴)

(上接第6页)

新安江水库削峰, 杭州洪水位相应降低 0.5 ~ 0.7 m, 拦蓄了一些小洪水, 小洪水冲刷机会下降, 汛前河道容积因此减少; 又因河道水流输沙能力与流量成高次方关系, 流量越大, 输沙能力越强, 洪水对于河床的塑造能力因此越强. 兴建水库以后, 削减了洪峰, 长远来看下游河道将会萎缩, 导致洪水位抬升.

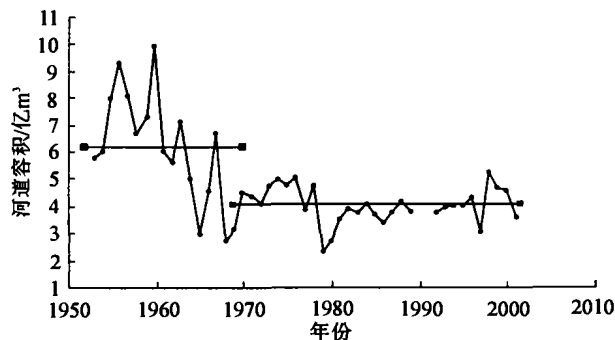


图4 钱塘江河口段河道容积的历年变化

8 结 语

钱塘江河口是强潮河口, 沿江洪水位决定于上游流域洪水, 以及包括天文潮、台风暴潮在内下游潮

汐的高低强弱. 各站点洪水位对上、下游洪水和潮汐的响应特性取决于当时钱塘江的河道状况.

在自然状态下, 钱塘江口潮势很强, 高潮位变幅甚大; 上游流域径流不大但集中; 加之强潮河口河道游荡, 河床大幅冲淤, 河槽频繁摆动, 沿江洪水位也随之急剧变化.

半个世纪以来, 上游兴修水库, 流域洪水已得到很大程度的控制; 河口大规模围涂, 海宁八堡以上河段游荡已被抑制, 河道趋于稳定. 同时, 沿江对洪水、潮汐的响应特性因此有一定程度的变化. 大规模围涂缩窄了河道, 加强潮波反射, 下游高潮位有所抬升; 因减小河道过水断面, 遇同样洪峰沿江洪水位有抬高. 水库在削减洪水洪峰的同时, 降低了下游河道造床流量, 使河道有所萎缩, 尤其削减了洪峰前流量, 减少了峰前河道冲刷, 导致洪水位相应升高.

本文得到韩曾萃、林炳尧、周潮生等同志的诸多帮助, 特致谢意.

参考文献:

- [1] 韩曾萃, 金嘉光. 钱塘江河口缩窄前后潮位的变化[C]. 见: 中国海洋工程学会编. 第十届中国海洋工程学术讨论会论文集[A]. 北京: 海洋出版社, 2001.

(收稿日期: 2002-12-25 编辑: 张志琴)