

钱塘江古海塘的塘型演变和经验探讨

陶存焕

(浙江省钱塘江管理局 杭州 310016)

摘要 概述钱塘江海塘主要塘型结构的演变、发展,明、清时期的改进、定型,并探讨其建设经验:因地制宜选用不同的塘型结构;千方百计加强塘身的整体性和稳定性;改进塘身迎潮面砌石收分使其有消能和挑浪作用;允许难以加高的塘身越浪。

关键词 钱塘江海塘;双盖鱼鳞石塘;鱼鳞大石塘;条块石塘

钱塘江海塘位于以涌潮著称的钱塘江河口两岸,主塘包括连接的山体,总长317 km,规模宏伟,布置周详,构筑精巧,工程艰巨,被誉为我国古代三项伟大工程建筑之一,与长城、运河齐名^①,且大部分留存至今,仍在发挥作用。兹分别就地理环境、历史演变及经验探讨三方面概述于下。

1 地理环境

钱塘江海塘上承山洪,下纳强潮。河口上界芦茨埠站(今富春江水力发电站附近),实测最大洪峰流量为29000 m³/s。闻名古今中外的涌潮,不特形、声夺人,且具有“力拔山兮气盖世”的气势和力量,实测最大压力70 kPa,最大潮流速12 m/s,并不时有来自东海的狂风恶浪推波助澜,其动力之强劲,举世罕见。而河口段江床系由不耐冲刷的粉沙组成,在江流海潮的往复作用下,江槽迁徙无常,坍涨速度惊人,滩岸日坍速曾测到245 m。自宋至明,屡次出现“海失故道”、“海凡五变”等江岸崩坍灾害,坍涨范围宽达5~15 km。明末清初至康熙五十九年(1644~1720)的76年间,主槽又发生两次大改道,由龛、赭两山间的南大门摆移至禅机山与河庄山间的中小门,再迁徙到河庄山以北的北大门,摆幅20 km(图1)。在历次江槽摆移过程中,海塘随之坍毁。河口段以下的杭州湾北岸,东晋以后,由于长江河口南岸沙嘴的发育而东伸,又受来自东南的强潮和风浪作用,今海盐澉浦至金山一带北岸,受到急剧侵蚀,岸线不断往北退缩,海塘亦随之坍退,到元末明初仍未停止。总之,钱塘江河口特殊的动力条件和边界条件对钱塘江海塘构成严重威胁。

钱塘江海塘卫护两岸的太湖平原和宁绍平原,

唐、宋以来一直是我国经济最发达的地区之一,生产和财赋岁入,历来对国计民生有较大影响。唐代就有“天下大计,仰于东南”^②;南宋卫泾曾指出:“承平之时(指北宋时期),京师漕粟多出东南,而江、浙居其大半。中兴以来,浙西遂为畿甸,尤所仰给。”^③明洪武中,两大平原的夏税秋粮,占全国总量2943余万石(古代1石约60 kg)的四分之一弱^④;清初,礼科给事中张惟赤也称:“国家财赋,半取足于江、浙,而江、浙二省,尤以杭、嘉、湖、苏、松、常、镇七郡为重。”^⑤清代为供皇室食用、官员俸米及兵丁口粮所需,每年向江、浙等8省额征漕粮400万石,其中江、浙两省的苏、松、常、镇、杭、嘉、湖7府即额定为183.3万石^⑥,占总数的45.8%。以钱塘江海塘所肩负卫护的重任非同一般。历代当政者都十分关心钱塘江海塘的安危,特别是清高宗弘历六巡浙江,四到海宁,专程察看海塘,亲自筹划修筑,其重视程度,于此可见。

钱塘江古海塘经过历代人民不断辛勤探索,至明、清两代,在历史经验教训积累的基础上,先后对塘型结构予以改进、定型;清代更投入大量白银,兴建永久性石塘,使其成为一项宏伟建筑,是我国古代人民智慧的结晶。

2 历史演变

远在唐代及以前的钱塘江海塘,和其它堤塘一样,都由土料或土石混合料筑成。但土塘难以捍涌潮、御风浪,塘身临溜以后,更难抗御急流对塘基的淘刷。五代吴越时期,当时已成为吴越西都、西府的杭州,海塘受强潮顶冲,屡筑土塘不成,形势险急,吴越王钱镠乃破大竹编笼,中填块石,横卧叠筑,并用长桩固定;塘前还钉立桩木以消杀涌潮、强浪的直接

冲击,称为“澼柱”(明清时期又称荡浪桩)^⑦。竹笼石塘的创筑,是历史上改进钱塘江海塘型式结构和用石筑塘的开端。宋、元两代在江岸崩坍,紧急抢筑海塘时,又先后“藉梢樾以护其冲”(即用柴埭护塘岸)^⑧,以桩、笆、板、木组成石仓^⑨,用石囤、木柜^⑩等护土筑塘。这一类结构是在危急形势下兴办的抢护工程,办料易,成事快,能收效于一时,但并不耐久。

宋景祐庆历年间(1034~1044)在杭州叠石为塘^⑪,是最原始的直立式石塘,但在强潮大浪直接侵塘或崩岸延及海塘时,即难稳固;元至正七年(1347)修筑百沥海塘上虞后海塘时,在桩基之上分别平置长5尺(元制1尺合30.72cm)、阔2.5尺的条石,在此之上,用同样尺寸的料石纵横错置5~8层,顶压侧石,内侧先填1尺厚碎石,再筑附土^⑫。但上虞后海塘并未长期临江,且边界、动力条件亦与北岸海塘有别,是以元代对塘型结构的改进,浅尝即止,未再深入。

明初,杭州湾北岸海盐一带塘岸已连续近千年坍退不止,大量土地坍沦入海,对巩固塘岸的要求十分迫切。先后经过五轮探索、改进,最终以五纵五横鱼鳞石塘定型,塘岸始得稳定,是为塘身结构改进的完美结晶。其探索历程,先是洪武三年(1370)将塘身易土为石,用宽、厚各1尺(明制1尺合31.1cm),长6~8尺条石纵放叠置,内培黄土^⑬。这一型式的石

塘,条石间既无连系,塘又在天然土基上砌筑,自然不能稳定。成化十三年(1477)按察副使杨瑄认为石塘之溃坏,在于迎潮面壁立,“潮激之生怒”所致,乃仿宋王安石在鄞县所筑,将塘型改成斜坡式,称陂陀塘,先在坡脚钉立排桩,随在碎石垫层之上顺坡砌石(图2)^⑭,不久又坏。弘治元年(1488),海盐知县谭秀采用桩基,改竖石斜砌为眠砌,但取陂陀形可缓潮势的优点。基桩上置石,迎潮面纵叠,逐层内收,形成较陡的外坡;内侧横叠,上下齐直,石后填以厚土^⑮,随又坍坏。弘治十二年(1499),知县王玺再作改进,除断面下阔上缩、内齐外坡外,主要的改进是将石料琢磨平整,以使砌石间紧贴弥缝;砌石改用纵横交错,有一纵一横,有二纵二横;上下层间则跨缝叠压^⑯,为下一轮的改进定型奠定了基础。嘉靖二十一年(1542),金事黄光升吸取前人改进的优点,再在塘基处理、塘身断面、石料规格和层间砌法等方面作了比较系统的改进,建成五纵五横鱼鳞石塘。其具体要求及砌法是:先去浮土,见实土方打桩,待沉实后再安放琢磨平整长6尺,宽、厚各2尺的大石,桩上两层用石纵横各五交错砌筑,第三层起的纵横石数,每两层递减,并向内渐缩成阶级形;第十五层起,每层递减、渐缩,第十八层以一纵二横封顶。并要求“层表里必互纵横作丁字形,弥直罅之水”;“层中横必稍低昂作馒头形,弥横罅之水”;“层相架必跨缝而置作品字

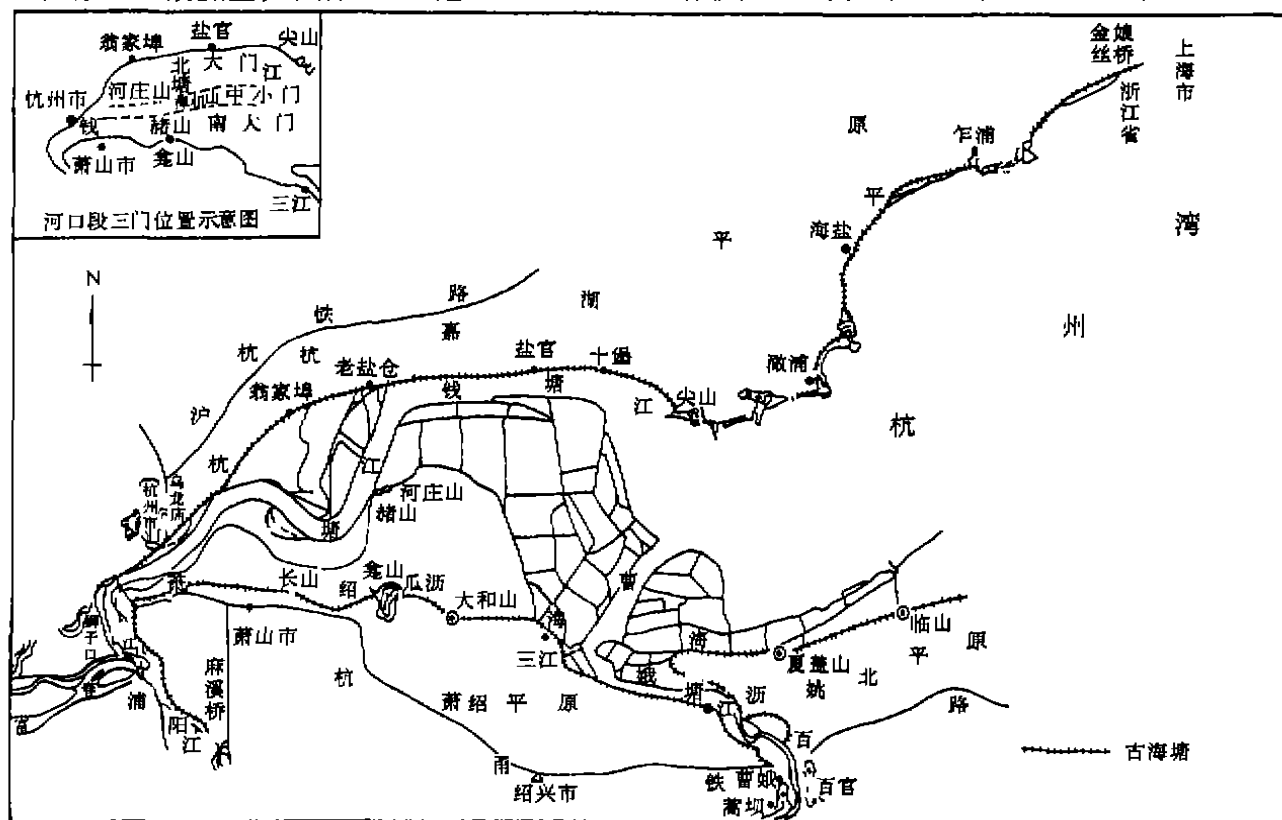


图1 钱塘江海塘形势图

形,以自相制,使无解散”(图3)¹³,塘经风潮考验有效。万历十六年(1588),巡抚滕伯轮又扩大桩基,遍及石塘底部,并将盖面石改为内外皆纵,以顺水势,遂完善定型¹³。从此在海盐建塘,虽断面有四纵六横等不同,但基本型制均以此为准,习称双盖鱼鳞石塘。

清代自康熙五十九年(1720)江槽改迁北大门后,海宁、仁和(今杭州)一线海塘遭江流海潮的下淘上击,险象丛生,从此掀开了清代对钱塘江河口段海塘结构型式改进、定型的序幕,除临时抢护性的柴塘外,通过消化吸收明代的经验,因地制宜予以改进、发展,最后定型的塘型主要有:

a. 鱼鳞大石塘,为临江承受强潮的险工地段塘型。塘身用厚1尺(清制1尺合32cm)、宽1.2尺条石砌筑,高18层,石塘底宽1.2丈,顶宽4.5尺,断面见图4。其主要特点是:除梅花桩外,前沿打马牙桩(即排桩)两路,梅花桩间又先后加打马牙桩各1路;条石间原用笋槽,后改条石丁(垂直水流的纵向)、顺(平行水流的横向)错置,用石灰米汁浆砌,上下参差压缝,第十、十二、十四、十六各层外侧顺石间嵌以铁锭,顺、丁石间亦安以铁铜(铁攀),盖面石前后各嵌铁锭,加强塘身整体性;改进明代迎潮面砌石上下均一收分为第二至十二层,每层外留收分4寸(清制1寸合3.2cm),内留收分1寸,第十三至十七

层每层外留收分3寸,内留收分1寸,盖面石不留收分¹³。同治六年(1867),又改第九层以下亦安锭、铜;灰浆用芡萝捣浸和灰掺以米汁;临潮面用桐油麻绒抿缝¹⁵。光绪初,又以铁簪、铁笋代锭、铜¹⁶。

b. 条块石塘,是临江非冲要地段的塘型,工料较省。按道光朝(1821~1850)制式,石塘底宽1.4丈,第一层盖桩石以两块4尺长条石丁放,里填块石6尺。第二层宽1.33丈,迎潮面砌顺石4路;第三层宽1.26丈,迎潮面砌丁石1路;第四层宽1.18丈,迎潮面砌顺石3路,丁、顺石后均填块石;第五至十七层,迎潮面均用条石丁、顺间砌,条石之内亦填块石,逐层渐缩;第十八层以4尺长条石丁放结顶¹⁶(图5)。

清乾隆六年(1741),为防御海盐一带风浪越顶冲刷附土,在石塘后附土面用块石为垫层,再砌以条石护面,坡脚用密排石桩入地4尺嵌紧,建成“散水石钱”¹⁶。

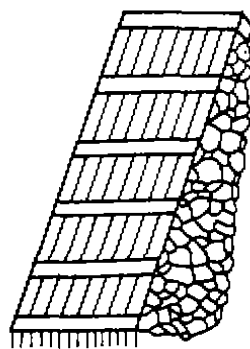


图2 杨董陂陀塘

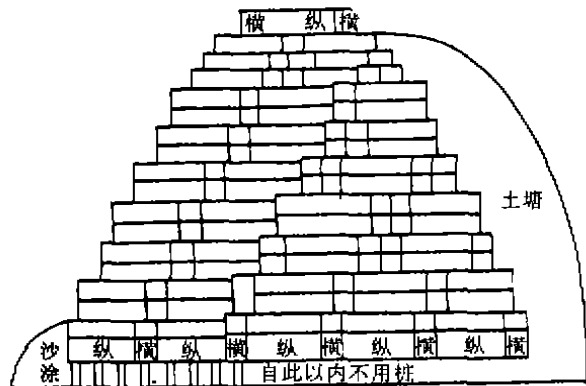


图3 黄光升五纵五横鱼鳞石塘断面

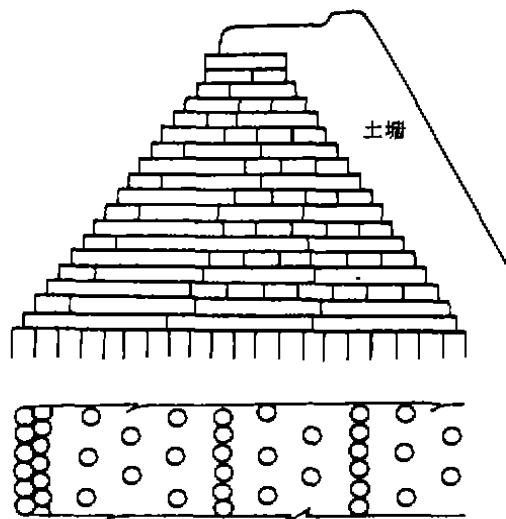


图4 鱼鳞大石塘断面及基桩平面布置

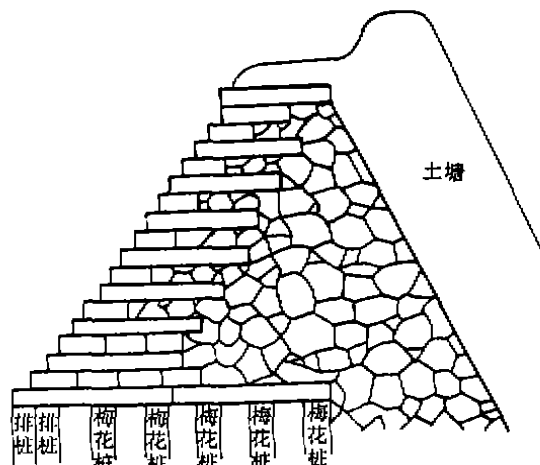


图5 条块石塘断面

明清时期限于技术、设备条件,海宁一带又受低潮位变幅大、历时短等影响,直立式石塘塘基偏高。

为免塘基受水流淘刷,在塘脚修建坦水等护基建筑,并兴筑柴、石盘头以挑溜护塘。

3 经验探讨

钱塘江古海塘是我们的先辈在实践中不断加深对河口动力、边界条件的认识下,殚精竭虑,充分发挥聪明才智的成果,当时虽无现代科技知识,筑塘材料又有局限,但在结构、布置等方面,有的已接近、甚至吻合现代设计原理,其成就弥足珍贵,是中华民族古文化灿烂辉煌的一个方面,对其主要经验探讨如下:

a. 因地制宜选用不同的塘型结构.钱塘江海塘所在的钱塘江河口,上、下段的边界、动力条件均有差异.清陈汧已指出:“宁、盐两邑均以海为患,而潮有横冲、直冲之异,地有软沙、硬沙之别”^⑨.明代在海盐所建五纵五横鱼鳞石塘,面对迎面直冲的强浪,塘身宽厚;而清代在海宁所建鱼鳞大石塘,主要是面临顺塘横冲的涌潮淘刷,且塘基粉沙疏松,是以塘身较窄,而在基础加打几路马牙排桩,防止淘刷基土.在潮势较弱地段,为节省工料,又将内层条石改换成块石,成为条块石塘,因地制宜,各得其所.

b. 千方百计加强塘身的整体性和稳定性.明代为加强塘身的整体性、削弱水流沿砌石缝隙淘吸附土,将条石纵横交砌成丁字形,各层间上下错缝叠压成品字形,断面后侧砌石稍高于前侧成馒头形.清代复在条石间先用槽笋嵌联,后改用铁锭等扣接,并先后用石灰米汁等浆砌石,桐油麻绒抵缝,竭尽所能以稳定塘身.

c. 改进塘身迎潮面砌石收分使其有消能和挑浪作用.明代改石塘迎潮面壁立为逐层内收,收分均

一的阶级形,除增强稳定性外,还形成糙面,具有一定程度消杀潮浪动能的作用,清代将收分改成下(层)宽上(层)窄,顶面两层不设收分,即由均一坡改成变坡,兼具挑浪之巧,减少潮浪的越顶水量.

d. 允许难以加高的塘身越浪.海盐一带海塘附土经常受风浪或浪花越顶的侵蚀,前述清代试建“散水石钱”虽仅一小段,但这一思路与措施,基本上与现代的设计思想相吻合.

注释:

- ①朱俊.《江浙海塘建筑史·引言》,上海学习生活出版社,1955.
- ②宋·欧阳修等.《新唐书·权德舆传》.
- ③宋·卫泾.《后乐集》卷13.
- ④清·顾炎武.《日知录》卷10.
- ⑤清·袁国梓等.康熙《嘉兴府志》卷8.
- ⑥李文治,江太新.《清代漕运》.北京:中华书局,1995.
- ⑦宋·钱俨.《吴越备史·杂考》.
- ⑧元·脱脱等.《宋史》卷97.
- ⑨宋·潜说友.《咸淳临安志》卷31.
- ⑩明·宋濂等.《元史》卷50.
- ⑪清·唐煦春等.光绪《上虞县志》卷25.
- ⑫明·王方麓.《携李记》.
- ⑬明·樊维城等.天启《海盐县图经》卷8.
- ⑭清·方观承等.《两浙海塘通志》卷8.
- ⑮清·佚名.《海塘新案》第1册.
- ⑯清·李辅耀.《海宁念汛大口门二限三限石塘图说》.
- ⑰清·佚名.《续海塘新志》卷4.
- ⑱清·王如珪等.乾隆《海盐县续图经》卷4.
- ⑲清·方观承等.《两浙海塘通志》卷19.

(收稿日期:1999-01-26 编辑:张志琴)

(上接第38页)在最优单位转速附近,处于最佳运行工况.

其它动力的发电设备,如潮汐电站、风力电站、船舶电机等,都希望原动机能根据潮汐水位差、风力大小、船舶原动机转速而变化,采用交流励磁变速发电机能使原动机维持在最佳转速稳定运行;另外,这种变速电机用于抽水蓄能电站,不仅可以解决发电与水泵工况的转速不同的问题,还可以用来增加调峰填谷的能力,并可以提高电力系统的稳定性,同时,可以解决自启动问题.

4 结 语

交流励磁发电机由于励磁电流的幅值、相位甚至频率都可调,有功功率与无功功率可以独立调节,具有明显优于传统同步发电机的性能,是提高水轮

机效率、减少空蚀、磨蚀和振动的有效措施,并可以明显提高电力系统的静态和暂态稳定性,具有广阔的应用前景.

参考文献

- 1 Gish W B. An adjustable speed synchronous machine for hydroelectric power application. IEEE, 1981, 100(5): 2171 ~ 2175
- 2 Tsutomu Michigami. The improvement of power system stability of an adjustable-speed pumped-storage generator/motor. T. IEE, 1994, 114-B(2): 33 ~ 38
- 3 徐锦才,许大中.多相励磁发电技术的研究概况.电力系统自动化,1997(4): 44 ~ 46
- 4 徐锦才,许大中.多相励磁发电机的控制原理与性能分析,电工电能新技术,1997(1): 55 ~ 58

(收稿日期:1998-04-10 编辑:张志琴)