

# 环太湖西段大堤加固植苇护岸可行性讨论

吴昊天<sup>1</sup>, 王振友<sup>2</sup>, 宋意勤<sup>2</sup>, 宋薇薇<sup>1</sup>

(1. 江苏省水利勘测设计研究院有限公司, 江苏 扬州 225127;

2. 江苏省工程勘测研究院有限责任公司, 江苏 扬州 225002)

**摘要:** 太湖属浅水型湖泊, 汛期东南风盛行, 对西段江苏境内大堤破坏性显著。研究通过太湖风浪特点、风浪对岸坡破坏作用机理分析, 认为环太湖西段大堤防洪加固重在防风浪。结合挺水植物芦苇的适应性、消能抗风浪能力, 认为环太湖西段大堤加固工程中应用植苇护岸方法进行抗风浪, 能够提高抵御流域洪水的能力, 并符合太湖治理生态保护、柔化岸线的总体趋势, 是可行的加固方案之一。

**关键词:** 风浪特点; 破坏作用; 植苇护岸; 柔化岸线

中图分类号: TV871

文献标识码: B

文章编号: 1007-7839 (2018) 07-0024-05

## Discussion on the feasibility of reinforcing reed revetment in western section of Taihu Lake

WU Haotian<sup>1</sup>, WANG Zhenyou<sup>2</sup>, SONG Yiqin<sup>2</sup>, SONG Weiwei<sup>1</sup>

( 1. Jiangsu Provincial Water Conservancy Survey and Design Institute Co., Ltd, Yangzhou 225127, Jiangsu;

2. Jiangsu Engineering Surveying Institute Co. ltd, Yangzhou 225002, Jiangsu )

**Abstract:** Taihu Lake is a shallow-water lake. The southeast wind prevails in flood season, which is destructive to the embankment in the western part of Jiangsu. Through the analysis of the characteristics of wind and waves in Taihu Lake and the destructive mechanism of wind waves on the bank slope, it is considered that the flood protection of the embankments in the western part of the Taihu Lake is focused on the prevention of wind and waves. Combining the adaptability of the reed and the ability to resist wind and wave of the reed water plant, it is believed that the application of the reed bank protection method to resist wind waves in the reinforcement project of the west section of the Taihu Lake can improve the ability to resist the flood in the river basin, and conforms to the general trend of the ecological protection and the softening shoreline in Taihu Lake, which is one of the feasible reinforcement schemes.

**Key words:** wind and wave characteristics; destructive effect; reed revetment; flexible coastline

## 1 概述

太湖是我国五大淡水湖之一, 位于我国东部长江三角洲平原地区, 湖泊水面面积 2338 km<sup>2</sup>, 常水位 3.11 m (吴淞高程系, 下同) 时的容积约为 44.3 亿 m<sup>3</sup>[1]。按 1954 年型洪水、50 年一遇标准, 太

湖设计水位 4.66 m, 而太湖流域平原地面高程主要要在 3.0 ~ 5.0 m, 约 50% 以上面积处于汛期洪水位以下 [2], 故环太湖大堤是太湖流域人民生命、财产安全的重要保障。

环湖大堤江苏省境内堤线长度 217 km [2], 形成周期较长, 1999 年太湖流域特大洪水后进行过

收稿日期: 2018-03-01

作者简介: 吴昊天 (1990—), 男, 本科, 主要从事水利工程、交通运输工程景观及绿化设计工作。

一次大规模加固。根据流域增加防洪调蓄能力和水资源调控能力的规划要求, 针对环湖大堤存在的薄弱环节实施后续工程, 这就需对大堤全线堤防的稳定性、堤身填筑质量、堤顶高程等因素进行全面深入的分析研究。

此外, 徐雪红<sup>[2]</sup>在相关文章中提出, 由于在环湖大堤工程初设阶段对太湖风浪破坏性的认识不足, 临水面直立挡墙的设计强度普遍不足, 历年大水顶风堤段挡墙水毁严重。现阶段应进一步研究风浪对大堤的破坏作用, 针对性地进行环湖大堤加固处理。

## 2 太湖风浪作用特点

太湖属于典型的浅水湖泊, 湖底的平均高程为 1.1 m, 湖底地形较为平坦, 几无深槽洼地, 也无大片滩地。当水位为吴淞零点 2.99 m 时, 全湖平均水深仅 2 m 左右<sup>[3]</sup>。

### 2.1 太湖风浪

#### 2.1.1 太湖风场特征

太湖流域属亚热带季风气候区, 四季分明, 夏季湿热, 冬季干冷, 降雨丰沛, 常有台风侵袭。太湖湖区 4 ~ 8 月以东南风居多; 10 月至翌年 2 月, 以东北风或西北风为多; 3 月最多风向为东南风或西南风, 9 月以偏北风为多<sup>[1]</sup>。太湖 1984 ~ 2004 年风玫瑰图如图 1<sup>[3]</sup>, 全年出现频率最多的为 SE 风。

#### 2.1.2 风力、风速特征

太湖汛期主风向为东南风, 属太湖西段的江苏宜兴段首当其冲受大风影响, 最大风力 8 级, 阵风 10 ~ 11 级。湖面月平均风速最大值 3.8 ~ 4.3 m/s<sup>[1]</sup>。

宜兴堤段主风向按照最不利的风向(正面袭击堤防的风向)考虑, 风速特征值如表 1 所示。

### 2.2 太湖波浪特点

波浪是湖泊主要水动力过程之一。太湖作为一个浅水湖泊, 具有风生浪起的特点, 风突然增

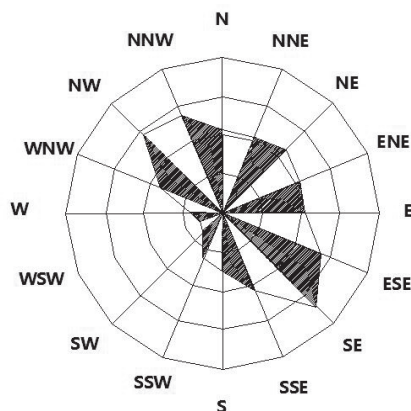


图1 太湖风频率玫瑰图(%)

大或减小能迅速引起波浪的增大或减小。太湖湖面开阔, 在一般天气条件下, 平均浪高在 0.5 m 左右, 当风力为 5 ~ 6 级时, 波高可达 1 m 左右, 波长约为 4 ~ 7 m<sup>[3]</sup>。

太湖宜兴段沿岸 100 m 内水深多在 0.8 ~ 1.5 m, 属于浅滩, 其对风成浪有一定的消减, 但大风期抵岸波浪仍在堤上生成 1 m 多高浪花越堤而过。

## 3 风浪对岸坡的破坏作用

在环湖大堤工程初设阶段对太湖风浪破坏性的认识不足, 临水面直立挡墙的设计强度普遍不足, 历年大水顶风堤段挡墙水毁严重<sup>[2]</sup>。风浪破坏作用集中体现在对江苏宜兴段和浙江段, 原因应主要为此两段是太湖风浪作用最强地段。

影响护岸结构选型的条件有地质、水深、波浪等自然条件以及建材来源、使用要求和施工条件等因素。太湖大堤岸坡多以采取了防护措施, 主要斜坡式混凝土板护面和直立式挡墙护岸 2 种形式。

### 3.1 工程地质条件简况

西段大堤位于古泻湖平原和石质山地以及河流泛滥平原区, 堤防填筑土分黏性土为主和轻粉质壤土为主两类; 第四纪土层厚度变化较大, 钻揭示的土层主要为全新世( $Q_4$ )、晚更新世( $Q_3$ )

表1 太湖大堤宜兴段风速特征值

系列长度 (年)	最大风速		汛期最大风速		修正后的风速 计算值	风向
	最大值	平均值	最大值	平均值		
1959 ~ 2003	17.7	13.0	17.7	16.3	16.4	SE
2004 ~ 2013	14.0	8.0	14.0	7.0		

沉积层;局部揭示泥盆纪( $D_1 \sim D_2$ )基岩。

(1)填筑土:一类(A)主要为灰黄、褐黄色局部灰褐,灰黑色粉质黏土、重粉质壤土,另一类(B)主要为灰黄、褐黄色局部灰褐,灰黑色轻、中粉质壤土。土质软硬不均,局部杂碎砖、碎石等建筑垃圾、腐殖质。

(2)全新世( $Q_4$ )沉积层:

浅表河湖沉积,力学强度较低。一类( $①_2$ )为灰色粉质黏土,可塑~软塑,一类( $①_3$ )为灰色重粉质砂壤土、轻粉质壤土,稍密~松散。

软土层( $②$ ):灰、灰黑色淤泥质粉质黏土~重粉质壤土,夹砂壤土薄层,富含腐殖质,局部地段腐殖质富集,且含有沼气,偶含孔洞及少量碎贝壳。流塑~软塑,高压缩性,力学强度低。局部重粉质砂壤土为主。

长江三角洲第一硬土层:灰黄、褐黄、棕黄色粉质黏土( $③$ ),含铁锰质结核和小砂礞。可塑局部硬塑,中压缩性,力学强度较高;棕黄、灰黄色

重粉质壤土夹砂壤土层( $④$ )。可塑,中压缩性,力学强度中等。其间也局部分布有力学强度较低的黏性土、砂壤土层。

(3)晚更新世沉积层( $⑤$ ):灰、褐黄、灰绿色粉质黏土、黏土,偶夹少量砂壤土薄层。可塑~硬塑,中压缩性,力学强度较高~高;灰黄、褐黄色轻、中粉质壤土,夹粉质黏土、砂壤土层,中密,中压缩性,力学强度中等。

(4)泥盆纪基岩( $⑩$ ),力学强度高。

选择代表性工程地质剖面示意图2。图2代表了不同堤段的地质剖面,从图(a)、图(b)和图(c)看出,太湖堤防总体工程地质条件差~较差,但工程地质条件在逐渐好转;图(d)代表的工程地质段,堤基地质条件较好。

### 3.2 斜坡式混凝土板护面

波浪水体通常以射流形式拍击斜坡护面,形成波动水流在坡面上往复上溯并回流。在持续往复的波浪作用过程中,坡面上产生波动流,流速最

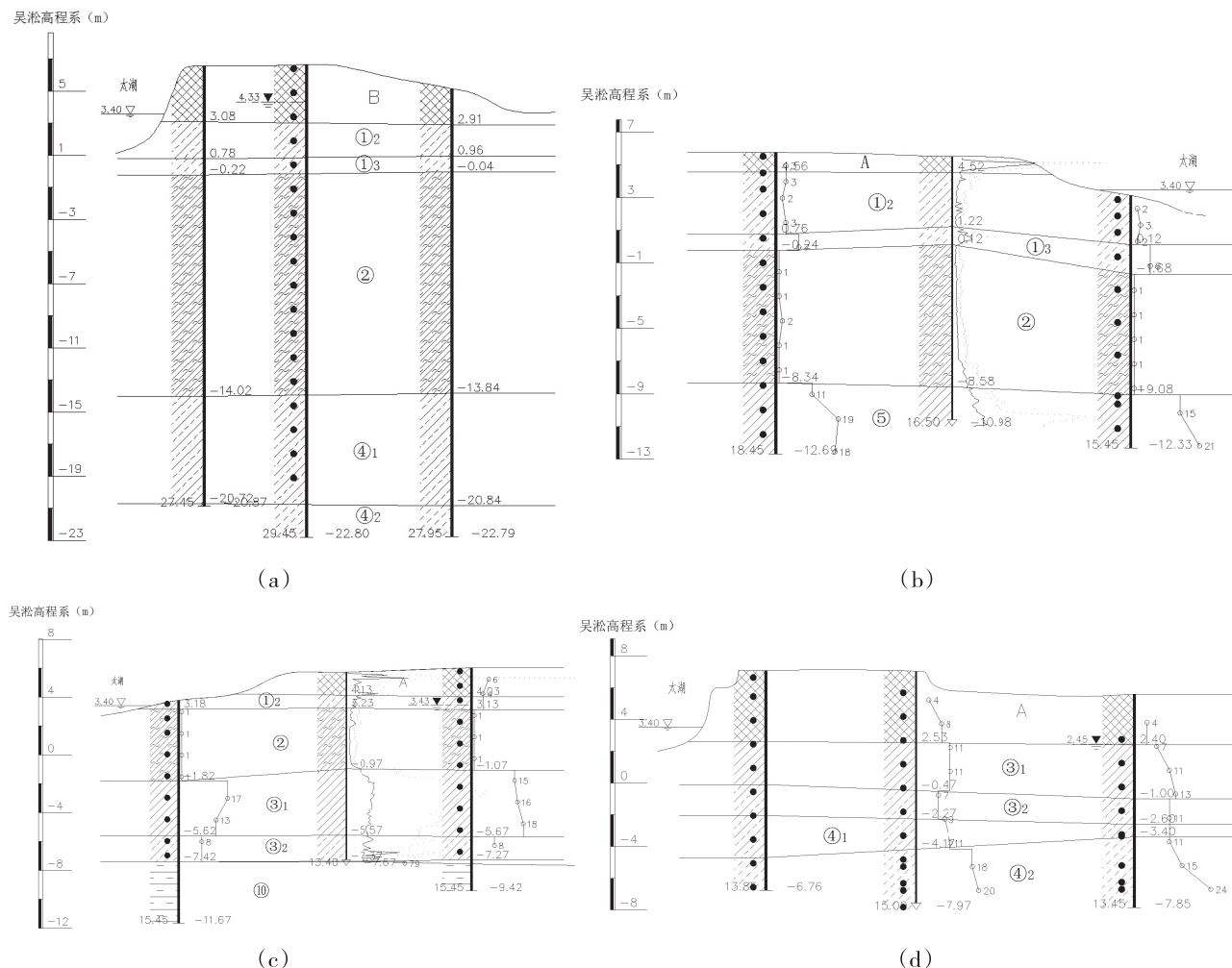


图2 代表性工程地质剖面示意图

大值在波浪破碎时射流拍击斜坡位置,并在该点产生最大拍击压力。随着波动流沿斜坡向上或向下运动,波浪压力也沿坡面上下有所衰减,并且波浪压力通过护坡材料及其孔隙自岸坡表层向内部深处传递。在传递过程中,波压力的数值虽不断有所衰减,但因各层波压力的分布具有相位差,当波动水流沿岸坡表面回落时,由于内压力的浮托作用,可能会将表层护坡材料掀动破坏;另一方面,由于波动渗流的淘刷作用,亦有可能将胶结材料或反滤层材料,通过护面或各反滤层的缝隙冲出,使坡面产生开裂或者凹陷;再一方面,护面基脚在波浪长期作用下逐渐被淘空,使护面悬空。

以上几种情况常在风浪作用下逐渐发育成熟,一旦遇到强风疾浪,护面在波浪回落时受到拖拽力和护面内部对其的浮托力作用下产生整体坍塌或坍塌。

### 3.3 直立式挡墙护岸

波浪水体推进至直立挡墙,首先对墙体产生直接的冲击作用,同时因遇墙阻挡,水体产生瞬时壅高,对墙体形成冲刷。此时挡墙承受水平向湖水作用力为向岸侧的动水压力和静水压力,将挡墙向岸推动。之后在墙体反作用力和壅高水头作用下,波浪水体回退、水面下降,形成墙前波谷。此时作用于挡墙上的波压力为向湖侧动水压力和静水压力,较前明显有将墙体向湖拖拽作用。挡墙在短时间内反复转换的两个方向力作用下,会逐渐进入摇摆运动状态。风浪小则作用力下,摇摆运动微弱;风浪大则作用力大,摇摆运动明显。持续的摇摆运动,可能从以下几方面造成影响:

(1) 直立挡墙基础埋较浅时,受波浪特别是波谷力作用,冲刷淘蚀破坏地基;

(2) 反复改变基础与地基作用面积,使部分时段竖向荷载强度值明显增大,非岩石地基产生超量沉降;

(3) 增大了挡墙滑移力和倾覆力矩,产生新的墙体位移或转角。

(4) 挡墙结构强度不足,不能抵御摇摆作用而导致墙体损坏。

因为挡墙后方有堤身支撑,地基超量沉降一般会发生在近湖侧,另外波谷力与墙后土压力方向一致,风浪摇摆作用影响达一定程度后,通常致使挡墙向湖侧倾斜或倾倒。

## 4 植苇护岸作用分析

### 4.1 芦苇特性

芦苇为多年生宿根草本植物,禾本科,芦苇属。地下根状茎发达,地上部分干高1~5 m,具有茎节。芦苇是挺水、湿生植物,分布广泛,主要生长于沼泽、湖泊深浅水中或低湿地等水分充足的环境,生长旺盛期在3~7月。

#### 4.1.1 环境适应性强

芦苇有横走的根状茎,根状茎纵横交错形成网状。因为有多年生的地下茎,每一茎节上有大量的不定根,叶、茎、根状茎、不定根都有导气组织,故而根状茎具有很强的生命力,能较长时间埋在地下,1 m甚至1 m以上的根状茎,一旦条件适宜,仍可发育成新枝。对水分的适应幅度很宽,芦苇能适应湿润、沼泽等环境,从土壤湿润到长年积水,从水深几厘米至1 m以上,都能形成芦苇群落。

#### 4.1.2 自然繁殖与人工繁殖

芦苇在自然生境中,以根状茎繁殖为主,也可以种子繁殖,种子可随风传播,落于条件适宜处即可发芽生长。

人工一般通过分株和扦插繁殖,发芽之后带根移栽,成活率高,生产管理可以比较粗放。

但在湖水较深的地段移栽,应选择比较高的种苗,确保移植之后有1/3以上挺出水面。

#### 4.1.3 抗病能力强

芦苇茎秆表皮层由硅质和栓质细胞组成,抗病能力强。

硅质细胞使芦苇的茎叶挺直,改善光合作用条件;使茎叶表层细胞壁加厚,角质层增加,防止病菌入侵;使芦苇导管刚性加强,提高通气性,不但可促进作物根系生长,还可预防根系的腐烂和早衰,特别对防治烂根病有重要作用。

栓质细胞是一种细胞壁栓质化的活细胞。栓质细胞利于植物蜡质物的积累,使植物表面形成蜡质层,抵御外界胁迫,抵抗病菌入侵;栓质细胞控制着植物蒸腾作用、光合作用和呼吸作用的相关环节,影响植物生长、发育的生理过程。

### 4.2 抗风浪能力

芦苇对比树木能够较大密度地生长,能相互依托对冲击水流形成抵抗合力;芦苇茎秆有一定弹性,且有对生叶,对风产生平衡作用,并可随风起伏,以其韧性呈现较强抗风能力;芦苇叶可以

在水中呼吸,进行微弱的光合作用,地上茎的节部可在水中长出不定根来摄取水中的养分,所以不怕汛期水涨浪高,可以起到一定的抗水流消风浪作用。

#### 4.2.1 历史与各地经验

日本学者陈仁端在《关于太湖流域的水环境与生态农业的若干思考》写道:《农政全书》强调养护圩岸之重要性。书中总结历史上养护圩岸之经验,提出堤上、堤边栽树种蔬、种草为有效方法之一。例如“岸上遍插水杨,圩外杂植茭芦,以防风浪冲击”<sup>[7]</sup>。

生物消浪是目前许多地区比较提倡的一种消浪模式,广东、福建沿海一带种植的红树林,上海市滩涂上的大片芦苇滩等,都是利用生物方法消浪促淤,效果明显。生物消浪与传统消浪方法相比较,除具有增强岸滩稳定、防蚀促淤、防风消浪等功能外,还有工程量小、成本低、环境协调性好等优点。

#### 4.2.2 试验研究

植物对水流的影响,邱秀云<sup>[5]</sup>等人通过室内水槽模拟试验发现,水流穿过植物的过程就是植物阻力引起水流能量损失的过程。水流穿过植物的过程中,植物对水流产生了阻滞作用,壅高上游水位,改变“柔性坝”附近的流速场,降低“柔性坝”上游段一定范围的流速。植物“柔性坝”阻水作用与“柔性坝”的种植密度和坝长有关。

湿地植物的存在将增大近岸水体运动的阻力从而消耗波能<sup>[6]</sup>。其他一些渠道阻力系数试验研究也表明,穿过植被段内水流的动能随着植被密度和植被段长度的增大而减小,植被密度和植被段长度的增大减弱了水流位能和势能向水流动能的转化作用,增强了水流位能和势能向能量损失的转化作用。

通过实验和理论分析,说明了植被密度的改变和植被段长度的改变均对含植被水流的水流阻力和水流能量特性产生影响。随着植被密度的增大,水流的阻力系数明显增大,水流流速明显减小,水流能量的耗散速度也明显增大,而随着植被段长度的增长,植被段内耗散的总能量明显增大。可以找出一个对水流阻碍作用有效率最大的植物密度和植被段长,植被按此密度、段长进行种植防护就可以最高效率地消减水流能量,降低其冲击作用了。

#### 4.3 植苇护岸符合太湖治理的总体方向

芦苇依靠根部过滤、吸附、分解、离子交换等实现对水中有害物质的去除,净化水中的悬浮物、氯化物、有机氮、硫酸盐等,是太湖水的“净化器”。在湖岸种植芦苇,能起到挡风消浪护堤的作用,是防洪消浪的“挡风墙”。

根据《江苏省太湖流域水环境综合治理湿地保护与恢复规划(2010-2020)》的要求,对因堤岸工程建设等原因受到破坏的太湖环湖湖滨湿地,采用滨岸消浪、生态护坡等生境恢复技术,合理配置湿地植物,构建水生动物群落,开展抢救性恢复或修复,恢复滨岸湿地植被带;保护出入湖河流滨岸湿地自然植被带,减少防洪防汛工程措施对河流滨岸湿地过渡带的影响,推行生态护坡,减少水泥、条石等硬质滨岸护坡,建设一定宽度滨岸湿地植被带。

保护生态、柔化大堤岸线是太湖治理的总体方向,植苇护岸符合此方向。

### 5 结语

(1)太湖汛期主风向为东南风,西段大堤首当其冲受到风浪影响,虽然较东段堤防设计增加了0.8 m 超高,但风浪水流的冲击、拍击作用对堤防破坏性仍是个显著问题。

(2)西段堤防工程地质条件较差。斜坡护面受到波浪拍击和回落冲蚀等作用,在拖拽力和浮托力作用下易产生整体坍塌或坍塌;直立墙护岸受风浪摇摆作用达一定程度后,易使挡墙向湖侧倾斜或倾倒。

(3)太湖大堤加固目的是防洪,但结构设计上防浪甚于防洪。芦苇是适应性强、种植成本低的挺水植物,在湖岸种植芦苇,能起到挡风消浪护堤的作用,且符合太湖治理保护生态、柔化大堤岸线的总体方向。

(4)植苇护岸方案也可结合太湖生态保护、湿地再造等项目一起实施,与其他植被共同形成防浪护岸工程,并制定预防措施控制水生植物可能对环境产生的不利影响。

#### 参考文献:

[1] 邓越,吴浩云,孙大勇,赵中伟.环太湖大堤防洪能力

(下转第33页)

(上接第28页)

- 浅析[J]. 研究探讨, 2015, 25(5): 72-75.
- [2] 徐雪红. 太湖流域防洪形势及近期治理防洪标准探讨[J]. 湖泊科学, 2000, 12(3): 199-204.
- [3] 胡庆华, 陈文辽. 苏州太湖避风港工程总体设计[J]. 水运工程, 2009(5): 72-76.
- [4] 陈方, 杨旭昌, 王玉. 太湖风浪对环境的影响作用[J]. 水利发展研究 2015, 5(12): 28-31, 34.
- [5] 邱秀云, 阿不都外力, 程艳, 周著, 侯杰. 植物“柔性坝”对水流影响的试验研究[J]. 水力水电技术, 2003, 34(9): 62-65.
- [6] 才多, 褚裕良. 基于弱非线性 RIDE 模型的植物消浪数值模拟研究[J]. 海洋工程, 2014, 32(6): 41-48.
- [7] 石声汉校注, 西北农学院古农学研究室整理, 《农政全书校注》[M]. 上册(全三册), 上海: 上海古籍出版社, 1979, 346-347.