

海堤设防标准探讨

卢永金^{1,2}, 何友声¹, 刘桦¹

(1. 上海交通大学船舶与建筑工程学院, 上海 200030;

2. 上海市水利工程设计研究院, 上海 200063)

[摘要] 调查分析了国内外海堤设防标准, 把海堤破坏归结为6种模式, 并分析风浪与潮位(流)对各种模式的影响, 提出风浪与高潮遭遇概率粗略算法; 根据海堤结构特点及其破坏模式, 提出一种基于风浪与高潮遭遇概率, 综合反映结构功能、使用要求与潜在风险, 多层次设防的海堤设计标准, 在此基础上提供了一种基于风险理论的海堤优化设计方法。

[关键词] 海堤; 设计标准; 风浪; 高潮; 遭遇概率; 破坏模式; 风险; 优化设计

[中图分类号] TV871; U656.31 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2005)12-0017-07

1 前言

我国仅陆地海岸线就有18 000 km, 其中相当长的岸线人工修建了保护腹地安全的防汛堤防, 特别在江浙沪等沿岸腹地较低而经济发达的地区, 海堤就是生命线。随着社会经济的发展, 各地都对海堤建设给予了越来越多的重视, 标准越来越高。由于海堤标准的选择与当地水文、地理、地质、社会、经济、环境、政治等方面密切相关, 因此至今国际上没有一个统一而科学的标准确定体系。国内海堤设计标准的形式一般采用潮位和风浪重现期或风速表示, 存在至少三个缺陷: 一是它反映的是一定时期平均的概念, 不保证建筑物在使用期中不遭遇这种风潮, 也不能说明何时会遭遇这种风潮, 百年重现期可能在百年中不发生一次, 也可能连续发生多次; 二是它没有反映建设和使用期长短对遭遇设计荷载的概率差异; 三是不能反映所定标准下的风浪与高潮(下简称“风潮”)的组合概率, 而同时发生往往才是控制工况, 才最危险。设计标准对海堤直接投资的影响往往大于结构方案细部优化的影响, 动辄上亿, 因此合理确定海堤标准意义重大。

笔者从调查国内外海堤设防标准着手, 在分析海堤破坏模式与机理的基础上, 研究风浪与高潮的作用, 估算其组合概率, 运用风险经济理论, 尝试提出一种符合我国实际情况的海堤设防标准及其优化方法。

2 国内外相关标准现状及评述

海堤与江河堤防工作机理有2个主要区别, 一是受潮汐作用, 二是风浪作用显著。因此海堤设计标准, 不仅像江河堤防一样需要确定水(潮)位的重现期, 还要确定风浪标准。然而, 由于潮位与风浪之间关系复杂, 两者对堤防设计的重要性也随地理位置及岸滩条件而有所不同, 因此, 国内外海堤的设防标准, 不仅在重现期上有区别, 在风与潮的组合上也不统一, 有采用风与潮同频率的, 有采用风与潮不同频率的, 也有采用一定频率的潮与固定风速组合的。表1系根据文献[1~4]等整理的国内有关部分地区海堤设防标准, 其中有些是规划标准。

发达国家海堤设防标准多采用风潮同频率^[5,6], 高等级海堤的设防标准一般在200年左右。荷兰为一种极端高标准典型。由于荷兰是一个低地国家, 平均海平面高于其地面, 1953年的大

[收稿日期] 2004-11-08

[作者简介] 卢永金(1963-), 男, 江苏高邮市人, 上海交通大学博士研究生, 上海市水利工程设计研究院教授级高级工程师
何友声(1931-), 男, 浙江宁波市人, 中国工程院院士, 上海交通大学教授, 博士生导师

表1 国内部分地区海堤设防标准

Table 1 Design criteria of some seawall in China

潮重现期	200年	100年	50年	20年	10年
辽宁 丹东 大连 锦州 营口 盘锦等	/	/	(3 333 hm ² 以上) 加同频率风	(667~3 333 hm ²) 加同频率风	(667 hm ² 以下) 加同频率风
河北 秦皇岛 唐山 沧州	/	/	(一般市区) 加同频率风	/	/
天津	/	(城区、企业) 加 7 级风	(一般地区) 加 7 级风	/	/
山东 烟台 威海 青岛 日照	/	/	加 10 级风	(667~3 333 hm ²) 加 10 级风, (其他) 加 8 级风	/
江苏 连云港 盐城 南通	市区或新建海堤加 11~12 级风		县城加 10 级风	/	/
上海	(城区) 加 12 级风	(农村) 加 11 级风	(农业) 加 10 级风	/	/
浙江 杭州 嘉兴 宁波 舟山 台州 温州	(150 万人以上城市 或特大工矿企业) 加同频率风	(50~100 万人城市、 66 667 hm ² 平原) 加同频率风	(10~50 万人城市、3 333 ~66 667 hm ² 农田) 加同频率风	(1~10 万人、667 ~3 333 hm ² 农田) 加同频率风	(1 万人以下、 667 hm ² 以下) 加同频率风
福建 福州 莆田 泉州 厦门 漳州	/	(667 hm ² 以上) 100~ 50 年潮或历史高潮, 加 50 年风	50~30 年潮 加 30 年风	30~20 年潮 加 10 年风	/
广东 汕头 惠州 珠海 东莞 中山 深圳 广州 湛江	(五大联圩) 加同频率风	(50~20 万人、66 667~ 13 333 hm ²) 加同频率风	(20~1 万人、13 333~ 667 hm ²) 加同频率风	(667~3 333 hm ²) 加同频率风	(小于 667 hm ²) 加同频率风
广西 钦州 北海 南宁 防城	/	/	(3 333 hm ² 以上) 加同频率风	(667~3 333 hm ²) 加同频率风	(667 hm ² 以下) 加同频率风
海南 海口 三亚	/	/	/	(一般地区) 加同频率风	/

洪水, 几乎使这个国家半数国土一片汪洋, 从此荷兰开始了大规模的堤防建设, 大多数堤段为万年一遇高潮位加 33 m/s 风速相应的波浪, 同时明确, 波浪作用下不允许出现严重损坏, 越浪数应控制在 2% 以内。与此标准相对应, 海堤在 100 年使用期内遭遇超设计荷载的概率为 1%。

设防标准应与被保护的价值相适应, 高标准所

需资金不是每个国家和地区都能支付得起的, 也不一定是必要的。在发达国家, 一般认为高产的农业田地不宜经常被淹, 尤其不宜经常被海水淹, 一般淡水淹没重现期不宜短于 10 年, 投资高的应不低于 25 年, 而被海水淹没的重现期则控制在 50~100 年。对有居民的保护区, 能造成房屋毁坏的重现期宜控制在 50~100 年, 如果是仅指房屋进水, 则其

重现期应可短至 10 年。如果保护区内有数十以上居民的村庄，则上述标准应提高到 500 年，如果保护区内保护的對象是城镇、大工业或如机场等重要设施，则其重现期应在 1000 年以上。上述标准均是指地坪高于常水位的情况，即落潮时进入保护区的涝水可自流退出。如果保护区的地坪低于常水位，上述标准应提高 10 倍左右。对照发达国家的标准，我国海堤设防标准普遍较低，无论是重要的机场、化工区，还是农业、养殖业围地。

把防洪风险与同一区域的其他风险（如化工厂有毒有害物泄漏、地震、火山爆发等）相比较，建立与之水平相当的标准，是国外拟定防洪标准必不可少的工作。荷兰人拿防洪成本与防火成本对比，认为这个标准还是太便宜了。荷兰全部海堤 3 700 km，造价 260 亿荷盾，保护了 5 000 亿荷盾的资产免受涝灾，每年海堤维修保养费约 3 亿荷盾；而为了防火灾，荷兰每年支付的费用则高达 7.5 亿荷盾。

3 海堤破坏模式及风浪与潮位的相对作用

大量调查研究表明^[5,7]，海堤在风浪与潮流、潮位作用下，其破坏形式一般可归结为下列 6 种：**a.** 堤前滩地冲刷（可能引起堤脚淘空，堤身不稳定）；**b.** 堤脚防护结构损坏（可能引起上部结构局部塌滑）；**c.** 高潮渗透（引起管涌、流土、堤身决口）；**d.** 堤身外侧护坡结构损坏（可能引起护面下堤身土淘蚀）；**e.** 堤顶防浪墙损坏（引起过流、越浪、路面破坏、内坡冲刷、堤身决口）；**f.** 堤顶溢流、越浪（引起路面破坏、内坡冲刷、堤身决口）。

在这 6 种模式中，模式 **a, b** 是常见的，受风浪及潮流作用都不可忽略，但潮位影响比风浪小，而且这两种破坏模式往往有一个过程，便于及时维

修，造成的损失往往有限。

模式 **c** 主要与潮位有关，但潮汐高潮位作用历时短，一般形不成稳定渗流，这种模式在江河堤防和临时性或简易海堤上是主要破坏模式，而在正规海堤上则少有发生（除非在建设过程中或在穿堤结构周边）。对易受风暴潮袭击的地区，模式 **d** 的护坡结构除了由于模式 **a, b** 导致的破坏外，其损坏主要受控于风浪，块体的重量、护砌的厚度都取决于风浪。

按我国堤防规范，土堤顶面应高出设计高潮位 0.5 m 以上，加上安全超高后墙顶必远远高于设计潮位，表面上看模式 **e, f** 即发生溢流、越浪是风浪作用的结果。但风浪离不开水深，笔者对两个实际工程几种潮位下不同重现期堤前波要素进行了计算对比。计算步骤是：先由区域内测站实测风速统计出不同重现期的各风向风速；再根据统计风速采用莆田公式计算 20~25 m 等深线深水波要素；然后采用考虑底摩阻的缓变水深水域定常波浪变形数学模型，由深水波要素推算堤前波要素。该模型联合求解波周期守恒方程^[8,9]、波数矢无旋性方程、光程函数方程和波作用守恒方程，综合反映深水波经折射与绕射等浅水变形，以及底摩阻作用的波能损失及风能沿程输入后的堤前特征。模拟水域为 3 000~4 000 km²，有限差分网格尺度为 100~500 m，底摩阻系数取 0.01。计算结果列于表 2、表 3 及图 1。

上海地区强风向是东北向，常风向是东南向。实例 1 位于杭州湾北岸，其危险风向是东南到西南向，不是强风向，深水波不强，加之受东南沿海岛屿影响，风吹程有限，因此堤前风浪不强，尤其在长重现期时风速随重现期增加不大，因而风浪也增加不大。实例 2 的海堤面向东偏北，几乎正对强风向，深水波较强，风速随重现期增加而增加的幅度

表 2 实例 1 风浪计算结果

Table 2 Numerical results of wind-wave for case 1

风重现期/a	1	50	100	200	300	500	750	1 000		
风速/m·s ⁻¹	15.25	26.3	27.8	29.3	30.1	31.2	32.2	32.6		
深水波要素	有效波高/m	2.05	3.29	3.44	3.58	3.65	3.75	3.84	3.88	
	平均波高/m	1.29	2.10	2.20	2.29	2.34	2.41	2.47	2.49	
	波周期/s	5.05	6.43	6.58	6.72	6.79	6.88	6.97	7.00	
堤前波要素	潮位 4.45 m	有效波高/m	1.98	2.90	2.95	3.05	3.08	3.10	3.18	3.18
		波长/m	35.92	50.56	52.11	53.55	54.27	55.19	56.10	56.41
	潮位 5.97 m	有效波高/m		3.09		3.36			3.61	
		波长/m		53.55		54.33			58.30	

注：表中潮位 4.45 m 相应于 1 年一遇高潮位，潮位 5.97 m 相应于 200 年一遇高潮位

表3 实例2风浪计算结果

Table 3 Numerical results of wind-wave for case 2

风重现期/a		22	40	50	100	200	500	1 000
风速/ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$		28.6	32.7	33.65	36.03	38.33	41.50	43.81
深水波要素	有效波高/m	4.96	5.27	5.40	5.62	5.84		
	平均波高/m	3.17	3.50	3.55	3.70	3.84		
	波周期/s	7.90	8.37	8.40	8.63	8.76		
堤前波要素	50年一遇(2%), 高潮位6.01 m	有效波高/m	3.00		3.16			
		波长/m	57.92		62.11			
	100年一遇(1%), 高潮位6.23 m	有效波高/m		3.15		3.34		
		波长/m		62.79		64.99		
	200年一遇(0.5%), 高潮位6.43 m	有效波高/m			3.19	3.30	3.41	
		波长/m			62.62	64.56	65.65	

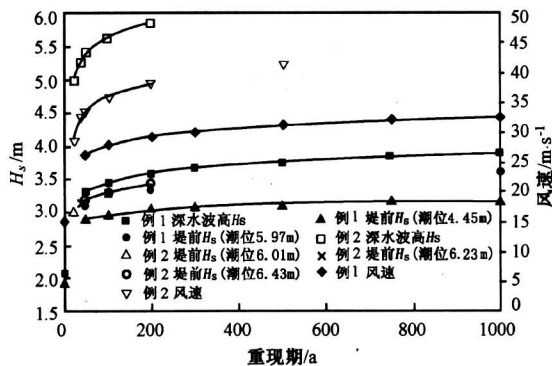


图1 实例1和实例2计算结果对比

Fig.1 Numerical results comparison for both case 1 and case 2

相对较大,但因堤前滩坡较缓,水不是很深,强风浪在堤前破碎,尤其当潮位不高时波浪破碎更为明显,因此堤前风浪也不是很强。这两个实例在上海地区具有代表性。计算表明,上海地区堤前波高有2个特点,一是风速和水深(潮位)对波高的影响相当,且波高与潮位增加幅度随重现期增加而变缓;二是波高与潮差同一量级。因此,对模式e、f而言,风浪与高潮的作用相当,潮位的作用不仅在于潮位自身高度,还体现在水深对浪高及波浪爬高的放大,两者联合最为危险。可以认为,在确定堤的高度和上部结构强度时,应以水深和波高两者共同作用且两者发生的概率协调一致为设防的主要荷载条件。

4 高等级海堤设防标准的拟定

理论上,弄清风浪与潮位的联合概率分布,求出综合反映风浪与潮位组合意义下的诸如“千年一遇风暴潮”相应的风浪与潮位时各自相应的重现

期,是最科学合理的。遗憾的是由于缺少风浪与潮位同步实测资料,直接分析风浪与潮位的相关性很难,联合概率分布法难以实用。潮位由天文潮和风壅增水组成,天文潮是规律性的,增水是风作用的结果,受风速、风向、风历时等影响,与风浪一样是随机事件,并且可以近似认为都是同一个事件(风)引起的两个后果,它们是同频率的完全相关事件,但与天文潮不相关。天文潮周期性涨落,而风暴是移动的,粗略估计在上海风暴中心作用在同一地点的历时不超过6h;上海地区的潮汐为不规则半日潮,不规则半日潮周期约12.4h,一天之中潮位有两高两低,但两个高潮高度差别明显,因此一天之中起控制的高潮位可认为只有一个,其与风暴中心遭遇的机率不大于1/4。因此,如果取风浪与增水同频率,且概率为 P ,则可近似认为设防概率(风浪与高潮遭遇概率)为 $0.25P$,相应的风浪遭遇的重现期 n 为设防重现期 n_0 的4倍。

根据上述分析,可以将风重现期作为单一的设防标准因素,从而简化计算难度,并可以将风险设计理论应用到海堤标准的优化选择上。按照风险设计理论,结构设计标准应与结构自身的造价、使用期限、结构失效产生的损失相适应。因此拟定设计标准还包括对设计建筑物的使用期及使用期内允许发生超标准的概率(超越概率)的界定。由于各种破坏模式发生的部位不一样,其可预知性、可修复性及其产生的后果是明显不同的,因而在使用期限内超过设计标准的概率应有区别。模式a、模式b破坏过程长,易发现、可日常维修;模式d可及时修复,后果危害可控制;模式e、模式f一旦发生其后果严重,因此可根据海堤的结构特点及风浪作用特点,将海堤的标准分为3个层次,三层次标准的

指导思想是：“小风浪不坏、偶见风浪可修、罕见风浪不毁”。

达到一定标准一般有 2 种做法，一是一次性留足余量，在使用期末余量耗尽而不低于标准；二是不断维护改进，在使用期内始终维持不低于标准。国外高等级堤防使用期一般为 50~100 年，而我国堤防建设不少地区均是逐步加高加固，这一方面与岩土工程逐步固结的原理相适应，也与我国的财力相适应，对天然地基的海堤来说是合适的。因此拟定堤身护坡及堤顶高程使用期取 20~30 年；由于岸滩受河势滩势变化影响，往往有周期性，可维护性比较好，故护滩与堤脚的使用期可短些，可取 5~10 年。

允许超越概率的大小直接影响工程风险损失费，允许超越概率小，则风险小，造价高。岸滩变化受大范围河势滩势影响控制，常有周期性，因而护滩应以动态管理顺势而为为基本思想，“定期观测，及时维护，适时控制”，其允许超越概率可以比较高，甚至可达 0.63；对可维修性护坡及堤脚，参照文献[5]表 4.7，取允许超越概率 0.1~0.2；堤的高度及上部强度对防汛安全至关重要，参照文献[5]Box4.4 取允许超越概率不大于 0.05。

允许超越概率服从下列关系^[10]：

$$P = 1 - (1 - 1/n)^T \quad (1)$$

式中符号意义参见表 4。

综合以上讨论，拟定了高等级海堤设计标准构想汇总于表 4。

表 4 高等级海堤设防标准

Table 4 Design criteria of advanced seawall

设防层次与部位	一层次：岸滩保护	二层次：外侧堤脚及护坡	三层次：顶高程与防浪墙
破坏模式	a, b	d	e, f
使用期 T/a	5~10	25~30	25~30
一般允许超越概率 P	<0.63	0.1~0.2	<0.05
风潮设防重现期 n ₀ /a	5~10	30~50	100~200
估算风潮遭遇重现期 n/a	20~40	120~200	400~800
按式(1)估算的设防超越概率 P	0.12~0.40	0.118~0.222	0.031~0.072
大堤结构表现	安全	可修	不毁

5 设计标准的优化

设防标准的选择核心是一个经济问题。国际标准《ISO2394；1998》提出结构设计的优化策略是

使“总寿命预期成本 C_{tot}”为最小，即：

$$[C_{tot}]_{min} = [C_b(Id) + C_m(Id) + \theta C_1(Id)]_{min} \quad (2)$$

式中 C_b 为建设成本，C_m 为维护管理的预期成本，C₁ 为失效费用，它们均为设防标准 Id 的函数。式(2)是一个关于 Id 的设计优化目标函数。θ 为社会、政治与环保影响综合系数，对海堤一般 θ ≥ 1；C_b(Id) 随 Id 增加而增加，C_m(Id)、C₁(Id) 则随 Id 增加而减少，因此 [C_{tot}]_{min} 曲线必有一个关于 Id 的最低点，与之相应的 Id 为最优设计标准。

C_b 与 Id 密切相关，给定 Id 可得相应 C_b。

C_m 包括日常维护、常见和偶见风潮的损坏修复，相应于破坏模式 a, b, d。由于模式 a, b 主要与结构形式及水流相关，对风浪标准不很敏感，粗估时可不予考虑，仅考虑模式 d，记为 C_m = P_m(Id)D_m，其中 P_m(Id) 为偶遇风浪的超越概率，与二层次标准相应。D_m 为维修费。

C₁ 相应于模式 e, f，记为 C₁ = P_f(Id)D_l，式中 P_f(Id) 为罕见风浪的超越概率，与三层次标准相应。D_l 为失效损失。

D_m 和 D_l 均可分为自身费用与间接费用两类，间接费用是指堤防破坏引起的间接损失，包括停产、环境破坏、社会与政治影响、人身伤亡等。显然，同一地区堤防等级愈高，D_m 与 D_l 愈小。

计算时，把维修费 D_m 和失效损失 D_l 分别表达为 D_m = λ_mC_b 和 D_l = λ_lC_b，λ_m 和 λ_l 为系数，根据上海地区有关资料初步整理 λ_m 和 λ_l 参考值见表 5。表 5 可用作初步分析，不同地区其数值将有所不同。应该说明的是 D_l 是围堤内的价值反映，特定区域的 D_l 是不随 C_b 变化的，不因堤防等级高低而改变。

表 5 维修费与失效损失经验系数

Table 5 Empirical parameter of maintenance cost & failure loss

名称	直接费用	间接费用				
		I 级堤防	II 级堤防	III 级堤防	IV 级堤防	V 级堤防
λ _m	0.1~0.3*	0.3~1.0	0.2~0.5	0.2~0.3	0.1~0.2	0.05~0.1
λ _l	0.05~0.5	5~50	2~30	1~20	0.5~10	0.1~5

注：表 5 中带 * 项者是与堤身护面结构费用相乘，其余均为堤身总造价的倍数

作为例子，下面就某一正在实施的工程（即前述实例 2）进行设防标准优化。该工程围区内为垸

圾堆埋和农业用地,按常规考虑可定位为Ⅱ级堤防,按前述方法并利用表4与表5之数据对其进行优化估算,结果列于表6,其中 D_1 取值约为堤防每延米造价的2倍,分别取90 000、75 000和60 000元,表中相应 P_1D_1 和 C_{tot} 的计算值用“/”对应分开,并将 C_{tot} 绘于图2。计算发现:

1) 该农业用地堤防失效损失值不大,对总费用起控制的是造价。

2) D_1 取值对优化结论影响显著,在不考虑建设成本利息时,本工程在 D_1 不高于80 000元时其设防标准应低于100年重现期;当 D_1 取值90 000元

时,其设防标准应高于100年重现期。

3) 该例中50~200年重现期的总费用相差甚微,建设成本所占比例较高,如果计入工程投资利息,失效损失为90 000元的总费用曲线之最低点也在50年重现期附近。图2中还给出本工程内若为城市化用地时使用期总费用与设计重现期关系曲线(D_1 取值约为堤防每延米造价的12倍),其合理的设防标准应高于200年重现期。不难理解,因城市化地区生命财产密集,堤防破坏后直接损失和社会政治损失非常严重,风险损失将大大高于农业用地。该工程实际取用的标准是50年潮位加10级风浪(风重现期约22年)。

表6 某海堤设防标准优化计算表

Table 6 Calculation for a seawall design criteria optimization

标准	量级或概率	三层次:2%风潮		三层次:1%风潮		三层次:0.5%风潮	
		10级风+2%高潮	12级风+1%高潮	二层次:3.3%风潮	二层次:3.3%风潮	二层次:2%风潮	二层次:2%风潮
风速/ $m \cdot s^{-1}$ /潮位/m		28.6/	32.7/	33.65/6.01	36.03/6.23	38.33/6.43	
		6.01	6.23	31.33/5.85	31.33/5.85	33.65/6.01	
				26.15/5.47	26.15/5.47	26.15/5.47	
波浪爬高/m		2.6	2.9	2.9	3.1	3.2	
堤顶高程/m		9.4	10.1	9.7	10.3	10.6	
$C_b/元 \cdot m^{-1}$		36 340	39 830	37 730	40 430	42 870	
$C_m/元 \cdot m^{-1}$	P_m			0.189($n=120, T=25$)	0.189($n=120, T=25$)	0.140($n=200, T=30$)	
	D_m			$0.2 \times 7\ 750 + 0.3$ $\times 37\ 730 = 12\ 869$	$0.20 \times 9\ 685 + 0.30$ $\times 40\ 430 = 14\ 066$	$0.25 \times 11\ 270 + 0.35$ $\times 42\ 870 = 17\ 822$	
	$P_m D_m$			2 432	2 658	2 495	
$C_1(元/m)$	P_1			0.095	0.061	0.031	
	D_1			($n=200, T=20$)	($n=400, T=25$)	($n=800, T=25$)	
	$P_1 D_1$			8 550/7 125/5 700	5 490/4 575/3 660	2 790/2 325/1 860	
使用期总成本 $C_{tot}/元 \cdot m^{-1}$				48 712/47 287/45 862	48 578/47 663/46 748	48 155/47 690/47 225	

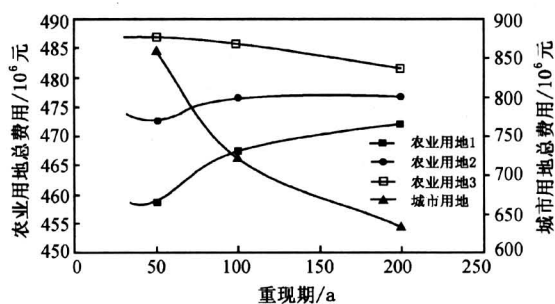


图2 使用期总成本与设计重现期关系

Fig.2 Relation between total cost of service life & design return period

6 结语

海堤的设防标准都是由风与潮位两方面组成

的,表现形式多种多样,但都未能给出综合两者的单一的概率指标,不利于用风险理论的方法进行优化设计。海堤的破坏模式可归纳为6种,从破坏机理及主要动力因素分析,对于最危险的两种破坏模式而言,风浪与高潮位的作用都非常重要。作者认为风浪与高潮位的遭遇概率可近似为风的概率与风暴经过的历时占天文潮周期的比例之乘积。以此遭遇概率为基础并根据海堤破坏模式及结构功能要求,建立海堤由下至上三层次的设防标准,在此标准基础上建立以风险理论为基础的优化设计标准的方法,实现了标准选择最优化的量化计算。

由于水文气象等资料缺乏,地区经济发展存在多样性,科学确定海堤设防标准目前仍十分困难,笔者对这个重大问题作了初步探索,有些假定是不严格的,如风浪要素的重现期与风速重现期并不总

是一一对应的;又比如,6种破坏模式与3个设防层次的对应关系对堤前滩地不十分陡峻的复式斜坡堤比较合理,但其普遍适用性有待进一步验证。因此,海堤设防标准问题还有待于积累大量工程实践资料加以研究完善。

参考文献

- [1] 姚慰城. 论上海地区海塘工程设计标准[J]. 上海水利, 1996, (4): 7~11
- [2] 严 恺. 海岸工程[M]. 北京: 海洋出版社, 2000
- [3] (GB50268-98) 中华人民共和国国家标准, 堤防工程设计规范[S]. 1998
- [4] 浙江省水利厅. 浙江省海塘工程技术规定[S]. 杭州, 1999
- [5] Mockett J D, Simm J D. Risk Levels in Coastal and River Engineering[M]. Thomas Telford, 2002
- [6] Krystian W P. Dikes and Revetments Design—Maintenance and Safety Assessment[M]. Rotterdam: A A Balkema, 1998. 43~52
- [7] U S Army Corps of Engineer. Coastal Engineering Manual[M]. Washington D C, 2002, Engineer manual 1110-2-1100
- [8] 冯卫兵. 水流中波浪绕射折射数值计算与分析[J]. 海洋工程, 2000, 13(4): 13~20
- [9] Feng Weibing. Numerical modeling of wave diffraction-refraction in water of varying current and topography [J]. China Ocean Engineering, 2000, 14(1): 45~58
- [10] 邱大洪. 工程水文学[M]. 北京: 人民交通出版社, 1999

Research on Seawall Flood Defense Criteria

Lu Yongjin^{1,2}, He Yousheng¹, Liu Hua¹

(1. Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200030, China;

2. Shanghai Water Engineering Design & Research Institute, Shanghai 200063, China)

[Abstract] The seawall flood defense criteria both at home and abroad have been investigated and discussed. The failure of seawall is referred to six typical modes and the inferences of the wind wave and tide are analyzed closely on each mode. A rough estimate is suggested for encounter probability of wind/wave with highest tide. A three level criteria for seawall design is proposed, which comprehensively integrates the encounter probability, seawall structure performance and usage requirements and the potential risk. Based on the above-mentioned criteria an optimization design scheme of risk principle for seawall is provided.

[Key words] seawall; design criteria; wind wave; high tide; encounter probability; failure mode; risk; optimization design