DOI:10.3880/j.issn.1006-7647.2008.02.013

# 上海、浙江、福建三省市海堤现状调查*

张从联[1],朱 峰[2],李维涛[2],刘志明[2]

(1.广东省水利水电科学研究院,广东 广州 510610;2.水利部水利水电规划设计总院,北京 100011)

**摘要** 根据调研成果对上海、浙江和福建三省市的海堤情况进行介绍,主要包含:海堤的建设经验、损毁情况、主要破坏特点、建设标准以及目前设计的主要依据;风速计算方法;沿海潮位和台风暴潮特点;波浪计算方法;堤顶高程确定;生物消浪措施;海堤主要结构和断面形式;海堤地基情况、堤基处理方式及计算方法;堤身填筑材料、施工方法及安全控制措施等。总结了三省市海堤建设中遇到的问题,并对《海堤工程设计规范》编制提出建议。

**关键词** 海堤现状调研;沿海城市海堤;上海市;浙江省;福建省

**中图分类号**:TV871 **文献标识码**:B **文章编号**:1006-7647(2008)02-0051-05

**Current status of seawalls in Shanghai, Zhejiang and Fujian in China**//ZHANG Cong-lian[1], ZHU Feng[2], LI Wei-tao[2], LIU Zhi-ming[2] (1. *Guangdong Research Institute of Water Resources and Hydropower*, *Guangzhou* 510610, *China*; 2. *General Institute of Water Resources & Hydropower Planning and Design*, *MWR*, *Beijing* 100011, *China*)

**Abstract**: Based on investigation results, the current status of seawalls in Shanghai, Zhejiang and Fujian was described, including construction experience, damage and main failure characteristics, standards used in their construction and main basis for current design, structure pattern and section shape, foundations and its treatment, filling materials, safety control measures, method for calculating wind speed and wave, method used in seawall crest evaluation, characteristics of local typhoons and coastal tides, biological wave dissipation measurements, and so on. Finally, the problems existing in the construction were summarized and some suggestions about the Seawall Project Design Code were made.

**Key words**: investigation of current status of seawalls; seawalls in coastal cities; Shanghai; Zhejiang Province; Fujian Province

2006 年,中华人民共和国水利部决定以刘宁总工为主编编制《海堤工程设计规范》(以下简称《规范》)。根据计划安排,编写组分 3 个调研小组分赴我国沿海省份对海堤建设现状进行现场调研,第 1 组以太湖流域管理局所辖范围为主,第 2 组以水利部松辽水利委员会、水利部海河水利委员会、水利部淮河水利委员会所辖范围为主,第 3 组以水利部珠江水利委员会所辖范围为主。

第 1 组人员于 2006 年 8 月份赴太湖流域管理局所辖范围的上海、浙江和福建三省市进行海堤现状调研。调研组查勘了已建、在建海堤现场,并与当地的海堤建设、管理、设计等单位进行了技术座谈。调研的主要内容包括:三省市的海堤建设及保护区基本情况、工程运行状况及建设经验;曾经发生的损毁情况及主要破坏特点;海堤建设标准以及目前海堤设计的主要依据;风速计算方法、沿海潮位和台风暴潮特点;计算堤前波浪要素、计算波浪爬高以及确定堤顶高程等的主要方法;海堤主要结构形式和断面形式;海堤地基情况、堤基处理方式及计算方法;堤身填筑材料、施工方法及安全控制措施、生物消浪措施;工程建设对该区域生态与环境的影响等有关问题。通过实地调研以及与当地海堤建设者的座谈,对三省市海堤建设基本情况有了一个初步的了解,为《规范》的编制掌握了第一手资料。各地海堤建设有关单位也对《规范》的编制和尽早出台充满了期望,并提出许多建议和意见。

## 1 上海市海堤工程基本情况

### 1.1 建设情况[1]

上海市位于我国东部沿海,地处长江三角洲,北靠长江口,南倚杭州湾,面临东海,每年受风暴潮袭击的影响。1949 年至 20 世纪 90 年代初期,上海市海堤工程根据市政府要求统一按'八五标准'实施建设,即堤顶高程 8 m(吴淞零点,下同),顶宽 5 m;1996

作者简介:张从联(1973—),女,河北无极人,高级工程师,硕士,从事波浪力学以及水力学研究。E-mail:zhangcl@gdsky.com.cn

* 参加调查的还有浙江省水利水电勘测设计院的袁文喜同志和浙江省水利河口研究院的陈秀良同志。

年开始按《上海市海塘规划》统一实施。截至 2003 年底,上海市海堤总长 510 km,丁坝 357 道、49 km,顺坝护坎 101 km;海堤分布在金山、奉贤、南汇、浦东新区、宝山、崇明等 6 个区(县)。

上海市海堤建设标准普遍较高。城市化区域或大型企业占用岸线采用的建设标准如下:近期(2000 年)100 年一遇、中长期(2010 年)200 年一遇潮位遭遇 12 级风;农村及城乡结合部地区规划标准为 100 年一遇潮位遭遇 11 级风。

经过多年建设及管理上的完善,上海市海堤运行状况良好,成功抵御了多次风暴潮袭击,如 9711 号台风,以及派比尔、麦莎等台风的袭击。

### 1.2 损毁情况

9711 号台风期间,正处于上海市海堤达标建设的初期,沿线海堤局部遭受一定的损坏,遭受破坏的以长江三岛的土堤为主,因土堤前沿芦苇消浪带宽度不足或生长不理想,造成外坡土方冲塌多处,但未形成缺口。

2005 年麦莎台风期间,正在建设中的海堤遭受了不同程度的损坏,主要破坏部分处于堤脚前的保滩坝或促淤工程,如南汇五期工程前沿保滩工程、金山化学工业区前沿保滩工程、奉贤促淤工程等,保滩或促淤工程顶部护面结构局部开裂,或护面块体局部失稳等。

### 1.3 海堤保护区基本情况

上海大陆地区海堤保护区范围内工农业高度发达,绝大多数人口密集或拥有大型工矿企业或重要交通枢纽等重要设施,沿线分布有宝山钢铁厂、浦东新区、浦东国际机场、上海临港新城、奉贤星火开发区、金山石油化学工业总厂和上海化学工业园区等。

### 1.4 海堤设计依据及建设标准

#### 1.4.1 设计依据

设计依据除国家和行业通用规范外,主要依据上海市水务局规划室、上海市水利工程设计研究院、上海市水文总站 1996 年 9 月编制的《上海市海堤规划》。

#### 1.4.2 建设标准

上海市海堤规划标准分两种类型:①海堤位于城市化区域或大型企业占用岸线的标准采用近期(2000 年)100 年一遇、中长期(2010 年)200 年一遇潮位遭遇 12 级风(下限,风速为 32.7 m/s);②海堤保护范围为农村及城乡结合部地区,规划标准为 100 年一遇潮位遭遇 11 级风(平均风速为 30 m/s)。

具体实施时划分为长江口、杭州湾海塘标准和长江口三岛标准(崇明岛、长兴岛、横沙岛)。

### 1.5 波浪要素计算的确定

波浪要素计算主要依据 GB 50286—98《堤防工程设计规范》[2] 进行,对于重要工程的波浪要素,主要是依据数学模型专题研究成果确定。

### 1.6 主要结构与断面形式

上海市海堤主要结构形式有斜坡式土石坝复式围堤、斜坡式土石坝围堤;堤身采用内外充泥管袋棱体,堤芯为吹填土的构筑形式;海堤外坡护面结构以栅栏板或人工块体(主要有扭王体和扭工体)为主,堤顶为直立式或反弧式钢筋混凝土防浪墙。

### 1.7 消浪措施

上海市由于其自身的重要性,海堤建设标准普遍较高,堤身主要采用人工块体护面(扭王体、扭工体、栅栏板、四角空心块体等),一方面提高了堤身的整体稳定性,提高了防浪冲击能力,另一方面大幅度提高了消浪效果,属于工程性消浪措施。其次,上海市的海堤工程普遍重视堤前保滩建设,一般在堤前有一段 20 ~ 30 m 的保滩段,保滩段的前沿一般规则安放 1 排扭王体,对于滩段和堤身的保护起到了很好的作用。

上海市海堤在有条件的滩地上一般种植了芦苇,既美观,又起到了很好的消浪效果,属于非工程消浪措施。但近年来,芦苇的种植难度增大,原因是部分围海工程向海洋深延的过程中,或者很难有较宽的滩地,或滩地上海水深度增加,不适合芦苇生长。

### 1.8 堤基处理方式

上海市海堤堤基属于软土地基,淤积较厚,常用的堤基处理方式有 3 种,即塑料排水板排水固结法、水平加筋法和堆载镇压法。

### 1.9 堤身填筑材料

20 世纪 90 年代以前建成的海堤多以碾压土坝为主,堤身多以黏土或亚黏土为主,采用人工挑土与机械碾压为主的方式筑堤,多为中高滩堤防;90 年代以后新建的海堤多以粉沙类土为主,采用水力吹填内外充泥管袋双棱体断面,棱体间吹沙形成围堤下部堤身,平台以上土方采用吹泥管袋小棱体并吹填沙土逐步抬高。

## 2 浙江省海堤工程基本情况

### 2.1 建设情况[3]

浙江省沿海多港湾、河口,岸线曲折,海堤全长约 2 200 km,海堤保护区内的浙东沿海和钱塘江两岸地区人口密度高,生产要素高度聚集,经济发达,经济总量以及财政收入占全省 80% 以上。

浙江省 1997 年以前修建的海堤总体防御能力较低,钱塘江海堤多数为 20 ~ 50 年一遇标准,浙东海堤为 5 ~ 10 年一遇标准。9417 号强台风的登陆给

该省带来了巨大的损失，海堤损毁 520 km，直接经济损失124 亿元，死亡 1 200 多人；9711 号台风造成浙江省海堤损毁 800 km，直接经济损失近 200 亿元，死亡 200 余人。9711 号台风后，为了根治台风暴潮屡毁海堤的祸患，适应沿海经济发展和保障人民生命财产安全的需要，浙江省用 3 ~ 4 a 的时间把防御能力偏低的 1 000 km 海堤全部建成了高标准的海堤，断面结构要求达到"三面光"保护，即迎潮面、塘顶面和背坡面 3 个面均实行工程保护。工程完工后至今海堤抵御了多次台风暴潮的袭击，为浙江省经济的高速发展提供了工程保障。

### 2.2 设计依据及建设标准

#### 2.2.1 设计依据

设计依据除国家和行业通用规范外，主要依据浙江省水利厅 1999 年 9 月编制的《浙江省海塘工程技术规定》[4]。

#### 2.2.2 建设标准

关于海堤等级标准，浙江省根据保护区内各类防护对象的规模和重要性以及该省实际情况，参照国家《防洪标准》[5]和《堤防工程设计规范》[2]，划分了 5 个等级标准（详见《浙江省海塘工程技术规定》[4]）。

### 2.3 海堤堤顶高程确定

浙江省海堤堤顶高程确定有两种基本方法，一是控制爬高 $R$（允许部分越浪的海堤爬高值取 $R_{13\%}$，不允许越浪的海堤取 $R_{2\%}$）；二是控制平均越浪量。两种方法互为复核确定堤顶高程。一般情况下，对重要的海堤一般会通过物理模型试验确定越浪量和堤顶高程。

### 2.4 海堤断面主要结构形式

浙江省海堤有斜坡、直立、混合（复式）3 种基本断面结构形式。由于浙江沿海多为软土地基，受限于地基强度和经济问题，堤顶高程往往不能定得太高，因此，浙江省提出了"冲而不垮，漫而不决"的原则，要求海堤断面 3 个护面均为工程保护的"三面光"结构，断面为矮胖型。

"三面光"海堤结构是指：迎潮面结构为混凝土或混凝土胶结材料的圬工体，有利于提高整体性和防冲能力；塘顶面为混凝土或沥青混凝土等保护，以防越浪水体直接冲刷土体；背坡面以干砌石保护居多，保护土体不受冲刷，以此达到整体的防潮御浪能力。为优化结构，风浪很大的海堤迎潮面还设置了混凝土异型块体、条石柱、差动消能坎和消浪平台等消浪工，以及反弧挑浪体来消减海浪。

### 2.5 海堤地基设计与处理

浙江省沿海地基土质多为高含水量、高压缩性、低强度、低渗透性的软土，地基需进行加固处理。目前，该省软土地基处理措施主要有堤身自重预压法、镇压层法、塑料排水带法、土工织物铺垫法、打桩法以及爆破挤淤法等，其中镇压层法应用较普遍，土工合成材料法应用也日趋广泛。

## 3 福建省海堤工程基本情况

### 3.1 建设情况[6]

福建省海岸线较长且海岸线比较曲线，曲折率达 1∶5.6，居全国首位；岸线全长 3 324 km，居全国第二；滩涂资源十分丰富，土质肥沃。福建省八山一水一分田，人多地少，土地资源比较贫乏，沿海地区人均土地约 133 ~ 200 $m^2$（0.2 ~ 0.3 亩），不足全国人均耕地占有量的 1/3，低于联合国粮农组织确认的警戒线水平，尤其是"九五"期间（1996 ~ 2000 年）福建省沿海平均每年减少耕地面积约 0.953 万 $hm^2$，土地资源匮乏严重制约了福建省国民经济的发展和人民生活质量的提高。因此，福建省一直以来都十分重视滩涂围垦开发，据统计，1950 ~ 2005 年底，全省已建成大小围垦工程 1 000 多处，总面积超过 9.333 万 $hm^2$，相当于福建沿海各县市现有耕地面积的 20%。目前已围成的滩涂 90% 以上都已开发利用，取得了显著的社会、经济、生态效益。福建省建成的海堤也多是滩涂围垦时修建的，全省建成的海堤累计达 1 792 km，直接开发保护土地30 万 $hm^2$，保护人口 500 万，保护沿海工农业产值400 多亿元。

### 3.2 海堤主要破坏特点

a. 在台风浪作用下，外护坡遭受破坏。即外坡石头被波浪破坏或拔出，引起护面坍陷，水流直接冲刷堤身材料，引起垮堤。

b. 在台风浪作用下，大量越浪水体冲击内坡堤身，导致内坡堤身冲失、外坡失去支撑而塌陷，引起海堤决口。

c. 防浪墙冲倒后越浪造成破坏。

d. 在较大水位差的作用下海堤产生渗透、管涌，导致堤身坍塌，常引起台汛期海堤决口。

e. 海堤深厚软基由于施工期间基础处理及基础产生较大沉降而引起堤身破坏。

f. 倒滤层太薄或在风浪中被破坏，引起坍陷破坏。

g. 深厚软基基础未处理好，引起滑移。

### 3.3 设计依据及建设标准

#### 3.3.1 设计依据

设计依据除国家和行业通用规范外，1998 年以前主要依据是 1992 年福建省水利水电厅编制的《福建省围垦工程设计技术规程》（试行）[7]；1998 年至

今主要依据《堤防工程设计规范》[2]。

### 3.3.2 建设标准

文献[6]对围垦工程等级划分如下：大型工程：围垦毛面积 666.7 $hm^2$(10 000 亩)以上；中型工程：围垦毛面积 200～666.7 $hm^2$(3 000～10 000 亩)；小型工程：围垦毛面积 200 $hm^2$(3 000 亩)以下。主要建筑物级别划分见表 1。

表 1 水工建筑物级别划分

| 工程等级 | 永久建筑物级别 | | 临时建筑物级别 |
|---|---|---|---|
| | 主要建筑物 | 次要建筑物 | |
| 大型 | 3 | 4 | 5 |
| 中型 | 4 | 5 | 5 |
| 小型 | 5 | 5 | |

## 3.4 沿海水文特点

福建沿海潮汐大部分属正规半日潮区，高潮位呈现南北低、中间高的特点，沿岸潮差分布不均匀，平均潮差 4.8～6.6 m，最大潮差 8～9 m，是全国潮差较大的省份之一。

福建沿海岸段是我国台风灾害的多发岸段和主要重灾区之一。据不完全统计，沿岸受台风或热带风暴袭击和影响平均 3～6 次/a。由于台风侵袭和影响，全省沿岸或部分岸段出现接近或超过当地警戒水位的异常高潮位次数平均 2 台风次/a，若恰逢天文大潮往往形成强台风暴潮，酿成潮灾，造成巨大损失。

## 3.5 堤身及结构特点

a. 海堤主要结构形式：土、沙、石混合结构结合必要的土工织物。

b. 主要断面形式：主要有斜坡式、陡墙式和混合式 3 种，以复合斜坡式为主。

c. 护面特点：福建拥有丰富的山石资源，因此，建设海堤也因地制宜地充分利用了当地的山石资源，外坡护面主要有干砌块石护坡、丁砌条石护坡、凹凸型加糙丁砌条石护坡、混凝土框格内加糙丁砌条石护坡、理砌块石面层铺设栅栏板护坡等。

d. 堤身主要填筑材料：外海侧设置抛石棱体，堤身闭气材料分海泥、山土和吹填沙 3 种，最主要的为填筑山土。

## 3.6 地基特点

福建省沿海地基主要分为深软土地基和砂基。深软土地基主要分布在闽东一带，特点是软基深，达到 20～50 m，含水量高达 50%～80%。软土地基处理方式主要为打设塑料排水带，并结合抛设基础沙垫层(60～100 cm)进行处理。砂基主要分布在闽中及闽南一带，特点是由细砂及粉质细砂构成，基础一般不作处理，主要进行防冲和防渗处理。

## 3.7 施工特点

a. 深软土地基的施工方法：多采用海泥与山土结合进行填筑，在堤身底部一般采用海泥掺沙进行船抛，上部再以山土填筑覆盖，山土施工以车抛为主。

b. 砂基的施工方法：多采用砂料进行填筑，在堤身内外两侧用冲灌袋叠加成型，堤身内部采用机械吹沙冲积而成，此种施工方法的特点是机械化施工程度高。

c. 施工安全控制措施：软基工程主要以施工期观测为控制手段来指导施工加荷强度，每次加荷厚度控制在 30～40 cm，间隔 4～5 d 再进行上一层加荷，同时要根据沉降和位移观测结果以每天沉降量小于或等于 20 mm 为宜。砂质堤坝的控制在于砂料密实度，一般砂料密实度要大于或等于 0.67。

# 4 问题及建议

## 4.1 建设标准问题

上海、浙江、福建三省市已建的海堤建设标准主要依据 GB 50201—94《防洪标准》、GB 50286—1998《堤防工程设计规范》以及各地的一些规划、地方技术规定，但随着沿海经济的快速发展，这些标准越来越不适应当前发展的要求。各地根据自己的实际情况对建设标准做了适当的调整，有的地方进行了提高。建议在此次《规范》编制过程中，对海堤的建设标准问题予以重视和规范，根据各地经济发展的实际情况，确定一个较合理的、操作性强的建设标准，防止一刀切；对建设标准的划分指标应尽量定量化。

## 4.2 波浪要素计算问题

我国海岸线长达 1.8 万 km，拥有沿海海岸线的有 11 个省、市、自治区，分别跨越渤海海域、黄海海域、东海海域和南海海域。各海域海洋水文特征不尽相同，例如东海海域内的浙江、福建两省沿海潮差特别大(较大时潮差高达 8～9 m)，沿海各省受台风正面袭击的机会相差较大，沿海省份海堤建设也区分在河口区建设和在开敞式海域建设。以上诸多原因构成了我国海堤工程设计时波浪要素计算的复杂性和多样性，因此建议在《规范》编制时充分考虑上述因素，根据不同地区的实际情况合理地确定波浪要素的计算方法，尤其是开敞式海域堤前波浪要素的计算方法。

## 4.3 越浪量问题

按现行规范规定，海堤设计有允许越浪设计与不允许越浪设计两种标准，但越浪量计算量测难度较高，且所谓的不允许越浪极难做到，包括室内物理水槽模型试验对越浪量测试与现场仍然可能有较大

的偏差。此外计算越浪量的公式也非常少。

在本次规范编制中，建议：①海堤设计中对允许部分越浪量值做出规定；②对越浪量的估算方法做比较深入的研究，对海堤设计中的越浪计算做出规定；③对进行越浪量模型试验做出规定。

### 4.4 波浪爬高问题

现有《堤防工程设计规范》[2]中对波浪爬高公式介绍比较少（尤其是复杂断面上的波浪爬高公式）。建议《规范》编制要广泛吸收国内外或其他行业的可靠科研成果，充实并加强波浪爬高计算的内容。

例如，《堤防工程设计规范》[2]中仅对 $m$ 为 1.25～5.0 的单坡形式和带有平台的复合斜坡堤（图 1）的波浪爬高计算给出了计算公式，并且计算公式有一定的适用范围，即 $m_{上}=1.0\sim4.0$，$m_{下}=1.5\sim3.0$，$d_W/L=-0.025\sim0.025$，$0.05<B/L\leqslant0.25$。对其他断面形式的海堤的波浪爬高公式均未能给出，很大程度上很难满足海堤设计波浪计算的要求。DB44/T 182—2004《广东省海堤工程设计导则（试行）》[8]中总结了部分国内外在波浪爬高方面的研究成果，分别给出了单坡式（$0<m<5$）、带平台的复坡式、不带平台的折坡式、堤前有镇压平台和潜堤、堤前种植防浪林以及堤身上插有砌条石的波浪计算公式。这些公式为设计人员的工作带来了方便，值得《规范》编制借鉴。

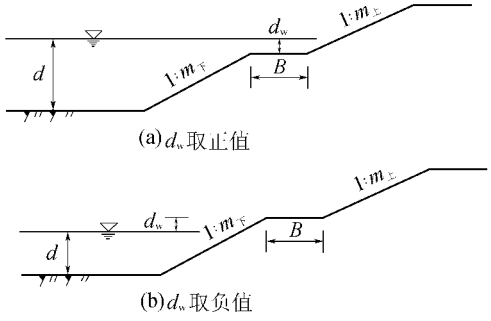


图 1 带平台的复式斜坡堤

### 4.5 风速计算问题

风速计算问题比较复杂，特别是不同地点的风速折算和高度换算关系更复杂，有些级别较低的海堤设计中如采用同频风则风速较小，给工程带来很多不安全因素，建议《规范》中明确风速换算以及折算问题，限制海堤设计时所采用的最小风速值。

### 4.6 风潮组合问题

调研中发现在进行海堤设计时，不同省市利用的风潮组合不同，浙江、福建用的是同频的概念，而上海利用的是潮位加上几级风的概念，根据这三省市有关人员的反映，这两种处理方法均有不足之处，建议《规范》编制充分考虑这两种处理方法的优缺点，对风潮组合做出合理的规定。

### 4.7 预留沉降问题

对地基良好的海堤，预留沉降量不大，较易控制；但对软土地基，如果要完全留足完工后沉降量，一方面不经济，另一方面过大的沉降常会造成护面开裂等不利情况。

建议对软土地基海堤规定预留完工后一定年限内的沉降值，待堤顶沉降至一定程度后再进行加高或补修处理，这样既有利于工程安全，也便于实际操作。

### 4.8 抗滑稳定系数问题

软土地基上的海堤随着地基和堤身的沉降，海堤整体越来越趋于稳定，由于滑动整体失稳而造成海堤破坏的较少。浙江等地的技术人员反映，对软土地基海堤进行抗滑稳定验算时，满足现规范要求的安全系数难度较大，增加很多工程措施和投资，很不经济。鉴于海堤建设的特殊性，在此次《规范》编制中，浙江等地的技术人员建议降低软土地基海堤的允许抗滑稳定安全系数。

### 4.9 护面结构稳定计算问题

同样的护面结构，在风浪的作用下可能是稳定的，但是在涌浪的作用下可能就会失稳，但计算护面体稳定的公式只有一个，建议两者的计算公式有所区分。

### 4.10 防浪墙施工控制问题

很多达标建设的海堤项目在重新加高防浪墙时对防浪墙的施工仅仅是在堤顶上浇筑工程材料，这样施工的防浪墙很不稳定，建议《规范》对防浪墙的埋置深度、稳定验算等设计做出规定。

致谢：本次调研得到了太湖流域管理局、上海市水务局、浙江省水利厅、福建省水利厅、宁波市水利局等单位的大力支持和帮助，在此深表谢意。

## 参考文献：

[1] 上海市水务局. 上海市海堤工程建设情况概要[R]. 上海：上海市水务局，2006.
[2] GB 50286—98，堤防工程设计规范[S].
[3] 浙江省水利厅. 浙江海塘简介[R]. 杭州：浙江省水利厅，2006.
[4] 浙江省水利厅. 浙江省海塘工程技术规定[R]. 杭州：浙江省水利厅，1999.
[5] GB 50201—94，防洪标准[S].
[6] 福建省水利厅. 关于福建省海堤工程设计情况的汇报[R]. 福州：福建省水利厅，2006.
[7] 福建省水利水电厅. 福建省围垦工程设计技术规程（试行）[R]. 福州：福建省水利水电厅，1992.
[8] DB 44/T 182—2004，广东省海堤工程设计导则（试行）[S].

（收稿日期：2006-12-11 编辑：高建群）