

江苏海堤工程建设研究综述

陈君, 林祥, 孙典红

(河海大学港口海岸与近海工程学院, 江苏南京 210098)

摘要:为给未来全球变暖、海平面上升等因素影响下以及保障海岸生态环境可持续发展背景下的海堤建设提供参考,综述了江苏淤泥质海岸海堤工程建设的发展历程和最新研究成果,指出江苏海堤建设经历了古海堤阶段、斜坡式土堤阶段、海堤达标建设阶段以及生态海堤阶段,总结了海堤的设计标准、堤线选址、结构形式、防护工程等方面的建设特点,认为海堤生态化改造、营造盐沼湿地海岸生态系统、构建生物礁潜堤等生态措施构建生态海堤将是未来海堤工程建设的发展方向。

关键词:淤泥质海岸;堤型选择;堤线布置;生态海堤;江苏

中图分类号:TV871 **文献标志码:**A **文章编号:**1006-7647(2022)04-0103-06

Research review on seawall project construction in Jiangsu Province//CHEN Jun, LIN Xiang, SUN Dianhong
(College of Harbour, Coastal and Offshore Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: In order to provide reference for seawall construction under the background of global warming, sea level rising and sustainable development, a comprehensive review on the research progress and development history of seawall construction in Jiangsu Province was summarized. The seawall construction history in Jiangsu includes the ancient seawall stage, the slope seawall stage, the standard seawall stage and the ecological seawall stage. The design standard, embankment line site selection, structural type and protection engineering were proposed. Ecological measures including seawall ecological transformation, construction of saltmarsh wetland ecosystem and submerged reef are the development directions of seawall engineering construction in the future.

Key words: muddy coast; selection of embankment type; embankment line layout; ecological seawall; Jiangsu Province

在全球范围内,沿海地区容易受到各种自然灾害的影响,包括洪水、飓风、海啸、海水入侵和海岸侵蚀等^[1]。海岸防护工程是保护沿海城镇、农田、盐城和岸滩,防止风暴潮的泛滥淹没,抵御波浪、水流的侵袭与淘刷的各种工程设施,其主要建筑物有海堤、护岸和保滩工程^[2]。海堤是沿海地区抗御台风风暴潮灾害、保障经济社会发展和人民群众生命财产安全的重要基础设施^[3]。我国大陆海岸线北起辽宁鸭绿江口,南至广西北仑河口,总长约18 000 km,已建海堤约13 000 km,保护近7 000万人口和约333.5万hm²耕地的安全^[4]。部分研究认为海堤工程造成了生物多样性和生态系统服务功能的急剧下降,并将威胁区域生态安全和可持续发展^[5]。

陆海界面是一个自然过程与人类活动相互制约、相互反馈的复杂的具有自我调节功能的自然-社会生态系统,海岸生态系统作为陆地和沿海系统之间的生态缓冲区,其退化可能加剧沿海危害,降低对

自然和人为干扰的恢复能力^[6-12]。

海堤是陆海界面的重要而敏感的人工建筑物,江苏沿海筑堤经历了古海堤阶段、斜坡式土堤阶段、海堤达标建设阶段等发展历程,海堤功能已由抵御海洋灾害、保障粮棉生产、提供产业用地逐渐向保障海岸生态系统良性循环发展。本文在总结江苏海堤建设过程的基础上,对海堤设计标准、堤线选址、结构形式及防护工程等方面进行了系统论述,并对未来生态海堤建设进行了展望,以期能为相关工程与研究提供参考。

1 江苏岸线概况

江苏海岸线北起绣针河口苏鲁交界海陆分界点,南至长江口南岸苏沪交界,总长为888.945 km^[13]。江苏沿海以淤泥质海岸为主,除少数砂质海岸、基岩海岸为自然岸线外,其余均为人工岸线,人工岸线中最主要的组成部分即为海堤工程,总长度为848.923 km,

约占海岸线总长度的 95.5% (表 1)。

表 1 江苏岸线类型与长度^[13] 单位: km

行政区划	岸线长度					岸线总长度
	自然岸线		人工岸线			
	砂质岸线	基岩岸线	堤	码头	河口海岸	
江苏省	1.775	8.360	848.923	21.865	8.022	888.945
连云港市	1.775	8.360	118.385	15.708	2.359	146.587
盐城市			373.756	4.129		377.885
南通市			210.365			210.365
长江口			146.417	2.028	5.663	154.108

江苏海岸按冲淤特性可分为侵蚀型、稳定型和淤涨型,其中射阳河口—东灶港为淤积岸段,烧香河口—灌河口、中山河口—射阳河口、东灶港—塘芦港为侵蚀岸段,绣针河口—临洪口为基本稳定岸段,临洪口—西墅、灌河口—中山河口、塘芦港—连兴港为稳定微淤岸段^[14-15]。

2 江苏海堤工程的发展历程

2.1 历史时期的海堤工程

江苏海岸除全新世高海面时期海水侵入较深外,海岸线在相当长的时间内大致稳定在赣榆、板浦、阜宁、盐城至海安一线,在海岸线附近形成了数条沿岸堤,其中以西冈、中冈和东冈最为有名,成为不同时期海岸线的自然标志^[15]。

历史上江苏滨海平原潮灾频繁,为抵御海潮侵袭,不同历史时期以东冈为基础修筑了多道海堤。其后,随着海岸线向海推进,海堤亦多次向海增筑延修。如唐朝的永安堤和常丰堰,宋朝的范公堤、狄堤、沈公堤、皇岸和桑子河堤等,明朝的包公堤、新岸,清朝的嵇公堤等,其中北宋范公堤,北起海陵东新城,南至虎墩,长约 143 km,高 5 m,堤脚宽 10 m,堤顶宽 3.3 m^[16]。自北宋以来,海堤成为苏北沿海重要保障,遮护民田,屏蔽盐灶,为盐、农生产与生活提供了重要屏障^[17]。

由于 1939 年特大海潮对江苏沿海地区造成巨大损失,1941 年修筑完成宋公堆。宋公堆以废黄河为界分为北堤和南堤,废黄河至头罾之间的北堤,堤长 27 km,底宽 10 m,高 3.3 m,顶宽 2.5 m;废黄河南岸至扁担港北之间的南堤,堤长 18 km,底宽 19 m,高 3.0 m,顶宽 3.5 m,转弯处顶宽 6 m,底宽 21 m^[16]。

历史时期的海堤堤线多沿海岸线布置,以斜坡式土堤为主,堤顶高程约 3~5 m(废黄河基面),堤脚宽通常为 10 m(海洋动力增强处或转弯处增宽至 20 m),堤顶宽为 2.5~3.5 m。

2.2 20 世纪下半叶的海堤工程

新中国成立后,结合治淮,在沿海开展了大规模治水兴垦生产运动,经过 1949—1956 年 7 年的集中

建设,完成了北起绣针河、南至长江口的初步沿海挡潮工程体系^[18]。至 20 世纪 80 年代末,沿海除少数自然沙堤外,全部筑有海堤。海堤总长度约 703.9 km,堤顶宽 5~10 m,堤高 5.5~9.0 m(废黄河基面),内坡比 1:3,外坡比 1:2.5~1:15,最缓为 1:35,约有 435 km 已种草植树^[15]。

海堤结构形式以植物护坡斜坡式土堤为主,全省约有 70% 的海堤属于此种类型,其他还有块石护坡斜坡堤、水泥土护坡斜坡堤和石墙护坡海堤等。植物护坡的斜坡式土堤主要用于淤涨或稳定海岸以及部分侵蚀海岸,由于堤前滩面高、水深浅且风浪小,海堤外坡平缓,断面宽大。一般外坡为 1:5~1:15,顶宽 8 m,若外坡设平台,平台宽度一般为 5~8 m。以如东海堤为例,其海堤断面为全省最大,外坡达 1:25~1:35,平台宽度达 10~30 m(图 1)。块石护坡的斜坡堤和石墙护坡海堤等这类海堤通常分布于海岸侵蚀强烈的地段,如吕四和小丁港海岸、赣榆和淮北盐场的海岸等。水泥土护坡斜坡堤在此时期尚属于试验阶段,数量较少。

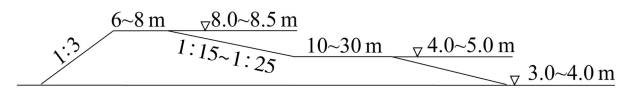


图 1 如东典型海堤断面

2.3 21 世纪达标海堤工程建设

1997 年 8 月,我国沿海先后有 4 次台风登陆,其中 9711 和 9713 号台风给福建、浙江、上海、江苏、山东、河北、天津、辽宁和广东 9 个省市造成严重的风暴潮灾害,是 1949 年以来遭受风暴潮灾害最严重、造成经济损失最大的一年^[19]。9711 号台风风暴潮期间,在大风、暴雨、海潮的共同袭击下,江苏沿海测站和内陆江河测站几乎全部超过警戒水位,江海堤防损失严重(表 2)。

在此背景下,江苏省分别于 1997 年和 2006 年启动第一轮和第二轮海堤达标建设,工程内容包括堤防土方工程、冲刷地段的防护工程、病险建筑物加固改建工程、堤顶公路建设工程、管理设施的更新改造,以及险段保坍应急工程。主海堤堤线以 20 世纪 80 年代查定确认的堤线为基础,总长 774.5 km。第一轮海堤达标建设累计完成堤防加固 400 km,第二轮海堤达标建设累计完成海堤防护工程 91.45 km、保滩工程 38.16 km^[20]。

海堤设计标准如下:①海堤堤顶高程按设计高潮位加堤顶超高确定。设计潮位按重现期 50 年一遇(设计频率 $P=2\%$)高潮位作为海堤的设计潮位,沿海各代表站设计潮位、设计堤顶高程见表 3。对于历史最高潮位超过表 3 所列设计潮位的岸段,取

表 2 1997 年主要海洋灾害情况统计

受灾严重地区	受灾人口/万人	死亡人数/人	受海水淹没农田/万 hm ²	水产养殖损失/万 hm ²	损坏堤防、海塘/km	损坏港口码头等工程设施/处	损坏沉没各类船只/艘	直接经济损失/亿元
福建	115		2.3345		55			2
浙江	1141	169	5.5361	2.6680	776	2000	235	193
上海		7			20			6
江苏		10	2.5346	2.5346	331	800	110	30
山东		28		5.4694	85	500	451	45
河北	70			0.8671	141	200	417	6
天津								2
辽宁				0.6670	58		1000	3
广东		6	4.5356	0.8004	326			21
合计	1326	220	14.9408	13.0065	1792	3500	2213	308

表 3 沿海各代表站设计潮位、设计堤顶高程 (废黄河基面) 单位:m

站名	设计潮位 (P=2%)	十级风浪爬高	安全加高	设计堤顶高程
绣针河口	4.73	1.97	1.0	7.7
九里	4.60	2.00	1.0	7.6
兴庄闸	4.50	2.00	1.0	7.5
大浦	4.96	1.94	1.0	7.9
燕尾港	4.02	1.98	1.0	7.0
滨海闸	4.02	1.68	1.0	6.7
翻身河闸	3.30	1.50	1.0	5.8
六垛闸	3.67	1.53	1.0	6.2
射阳河闸	3.79	1.51	1.0	6.3
新洋港闸	3.90	1.50	1.0	6.4
斗龙港闸	4.39	1.51	1.0	6.9
王港闸	5.01	1.49	1.0	7.5
东台河闸	5.56	1.54	1.0	8.1
新港闸	7.34	1.46	1.0	9.8
小洋口闸	6.82	1.68	1.0	9.5
遥望港闸	5.55	1.85	1.0	8.4
大洋港闸	5.09	2.51	1.0	8.6
七门闸	4.79	2.01	1.0	7.8
协兴港闸	4.40	1.50	1.0	6.9
连兴港闸	4.90	1.50	1.0	7.4

注:风壅水面高在设计潮位中已考虑,不另作计算。

历史最高潮位作为设计潮位。堤顶高程按十级风浪爬高加安全加高确定。②海堤设计断面堤顶宽度不小于 6~8 m。土堤迎水坡坡度一般为 1:5,有护坡的海堤迎水坡坡度根据堤防高度、堤身结构、土质、潮水位、风浪等情况经稳定计算确定。背水坡坡度一般为 1:3。风浪较大地段的海堤及海塘临水侧设置消浪平台,宽度 2~3 m,部分地区可达 5 m,高程等于设计潮位或略低于设计潮位。在取土确有困难或风浪较大的地方建防浪墙,防浪墙顶高程即为海堤堤顶高程,防浪墙净高不超过 1.2 m。在海堤工程实践中,海堤结构形式主要参考 GB/T 51015—2014《海堤工程设计规范》^[21],包括斜坡式堤、有堆石棱体及马道的斜坡式堤、有消浪平台的斜坡式堤和在平均低潮位处设置平台的斜坡式堤。

2.4 生态海堤工程

2017 年《全国海堤建设方案》提出海堤建设要

“注重生态,落实绿色发展理念”,生态海堤成为未来海堤建设的一个重要方向。生态海堤是指满足海洋灾害防护要求、模拟滨海生态系统结构和生态过程,具有生态功能和美学价值的复合生态系统,具备抵御风暴潮涨水、抵御海浪侵蚀、防止水土流失、维护生物多样性和改善水质等功能,主要包括离岸防护、海向浅滩、海堤堤身 3 个系统^[22]。离岸堤消波防浪,减少近岸沉积物流失;岸滩植被防风促淤、护岸护堤,形成堤前天然缓冲带;在海堤护坡和堤顶种植藤本与灌木类等滨海植物,实现海堤防护与生态景观的有机结合^[23]。

以南通启东市海岸带保护修复工程为例,主要包括海堤生态化改造、潜堤设计、盐沼湿地生态修复 3 个组成部分。其中海堤生态化改造包括堤身土工格栅植草生态护坡、堤后生态防护林带建设、堤身向海侧盐沼植被种植修复和生态礁组合设计(图 2);堤外通过潜堤和橡胶坝调节控制,有效阻绝堤外泥沙,维持堤内稳定清澈的海平面,提升海水水质,改善生态环境,促进海洋生物资源增殖;盐沼湿地生态修复利用湿地生态系统自我调节能力并结合水文、地形等人工调控手段,通过水文调节、微地貌改造,恢复水文联通性,同时结合改变土壤基质、优选种子源等多种手段,提高湿地植被产量,改善湿地生态功能。

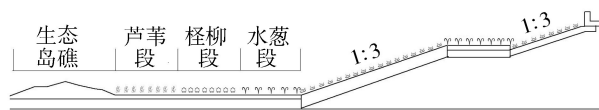


图 2 启东蒿枝港口至塘芦港口生态海堤断面

3 江苏海堤工程的建设特点

3.1 海堤设计标准

在达标海堤工程建设前,江苏海堤堤顶高程的设计标准为“历史最高潮位加十级风浪爬高,再加安全超高”。根据有潮位资料的地段进行验算的结果可知,翻身河闸以南的海堤堤顶高程基本上能满足上述

设计标准,翻身河闸以北的海堤有的标准较低^[15]。

江苏省达标海堤工程建设期间,江苏省水利厅苏水管[1997]80号文确定的工程设计标准为设计潮位为50年一遇高潮位,工程等别为Ⅱ等,堤顶超高为十级风浪爬高加安全加高。由于江苏一线海堤往往结合围海工程共同建设,海堤建设标准会结合GB 50201—2014《防洪标准》^[24]、SL 252—2000《水利水电工程等级划分及洪水标准》^[25]、GB/T 51015—2014《海堤工程设计规范》^[21]、GB 50286—2013《堤防工程设计规范》^[26]、SL 389—2008《滩涂治理工程技术规范》^[27]等规范综合确定。通常情况下,海堤工程的设计标准为:围堤为Ⅱ等工程,按2级水工建筑物设计,防洪标准为50年一遇。

近年来,随着沿海地区经济社会的发展,海堤保护区的经济、城镇人口、工矿企业发生了较大变化。按照海堤工程的防潮(洪)标准中各类防护对象的规模和重要性,海堤工程的级别根据其防潮(洪)标准分为5级(表4)。目前的实际情况是,部分一线海堤的建设标准往往略高于相关规范要求,如启东北部江海产业园岸段位于长江口一级风暴潮风险区域,结合生态海堤建设,海堤建设标准按100年一遇

表4 特殊保护区海堤工程防潮(洪)标准及对应的海堤工程级别

海堤工程 防潮(洪) 标准/a	重现 期/a	特殊保护区			海堤工 程的 级别	
		高新 农业/ 万 hm ²	经济 作物/ 万 hm ²	水产养 殖业/ 万 hm ²		
≥100	≥100	≥6.67	≥3.335	≥0.667	特别重要	1
100~50	100~50	6.67~ 3.335	3.335~ 2.001	0.667~ 0.334	重要	2
50~30	50~20	3.335~ 0.667	2.001~ 0.334	0.334~ 0.0667	较重要	3
30~20	50~20	0.667~ 0.334	0.334~ 0.0667	0.0667~ 0.013	较重要	4
20~10	20~10	≤0.334	≤0.0667	≤0.013	一般	5

表5 条子泥内缘区围垦工程主要指标

垦区名称	围垦时间	围垦面积/ 10 ³ hm ²	海堤长度/ km	起围高程 (废黄河基面)/m	海堤断面及护坡工程
新东垦区 ^[28]	1979-11—1980-08	1.007	7.72	4.5	堤顶高程9.0m,顶宽10m,外坡高程6.5m以下为1:15,以上为1:5,内坡1:3。铺植护坡草皮25万m ²
三仓片垦区 ^[28]	1996-10—1997-03	3.448	15	4.6	堤顶高程8.5m;外坡1:5,内坡1:3,特殊断面1:10,平台1:20。铺植护坡草皮186万m ²
仓东垦区 ^[28]	2004—2005	1.868	12.17	3.5	堤顶高程9.0m,顶宽8m,外坡1:5,内坡1:3。内坡和外坡高程5.5m以上满铺草皮护坡,外坡高程5.5m以下坡脚采用吹沙袋防护
梁南垦区	2008—2009	1.768	16	3.3	堤顶高程9.0m,顶宽8m,内坡1:3.5,外坡高程为1:5,部分堤段高程5.5m以下为1:3(硬化防护)或1:8(草皮护坡)。内坡草皮护坡,外坡六角螺母块体生态护坡
条子泥一期	2012—2014	6.750	27.161	2	堤顶高程9.0m,堤顶设防浪墙,墙高0.7~1.0m,堤顶宽度8.5m,迎水坡设宽5.0m的消浪平台,平台高程为5.0m。消浪平台上、下边坡均为1:2.5,迎水坡护面结构为厚35cm的栅栏板;背水坡设宽度5.0m平台,平台上、下边坡为1:3,种植生态草皮

黄海高潮位加十一级风浪,海堤级别为1级。因此,未来的海堤建设可结合保护区现状及规划布局,分段拟定出海堤防潮设计标准。

3.2 海堤堤线选址

长期以来,江苏沿海海堤堤线通常沿平均高潮位布设。位于稳定型和侵蚀型岸段的海堤位置相对较为稳定,而对于淤涨型淤泥质海岸而言,由于潮滩向海淤涨,平均高潮位线和匡围堤线亦同步逐渐向海推进。

以江苏沿海潮滩淤涨速度最快的辐射沙脊群核心区条子泥潮滩为例,1979—2014年自陆向海依次匡围了新东垦区、三仓片垦区、仓东垦区、梁南垦区和条子泥一期匡围工程等5个工程,除条子泥一期匡围工程起围高程较低外,其余工程的堤线均能保证平均高潮位线附近,围区内70%以上的区域为草滩且堤外预留有足够的盐沼滩。而条子泥一期匡围堤线则是沿盐沼滩带外缘线布设,因此,海堤建设和防护标准均大大提高(表5)。可见,海岸盐沼在江苏潮滩的动态发育过程中是一个重要的指示标志,可以动态指示沿海潮滩的淤涨速度,该指标可供未来生态海堤建设工程借鉴。

3.3 海堤结构形式

受海堤工程所在地区、工程海域海洋动力环境、海岸冲淤演变特征以及经济发展程度等影响,各地海堤的结构形式等有所不同。江苏海堤工程以斜坡堤为基本结构形式,部分地区建有一些直立式和复合式海堤。

对比海堤堤型断面,主要变化表现在两方面,一是外坡坡比,二是消浪平台。对于淤涨型海岸,20世纪海堤外坡坡比通常为1:5~1:10,甚至1:15~1:25;对于侵蚀型海岸,外坡比略陡,为1:3~1:4;21世纪以来无论淤涨型海岸海堤还是侵蚀型海岸海堤均调整为1:2.5~1:4,海堤占用

潮滩面积大大缩减。与之相对应的是,加强了海堤护坡工程建设。同时,设置消浪平台的一线海堤数量逐渐增加,部分海堤甚至设置有二级消浪平台。出现这种现象的原因主要是受到全球变暖、海平面上升、泥沙供量减少等自然因素以及社会经济发展对沿海土地的需求影响,导致堤前水深相对加深,波浪、潮流以及潮沟侧摆冲刷等动力作用相应增强,淤涨型潮滩淤涨速度变缓,侵蚀型潮滩侵蚀速度加剧,对海堤建设抵御海洋灾害的防护要求大大提高。

3.4 海堤防护工程

在淤涨型淤泥质海岸,海堤的起围高程一般划定在当地平均高潮位线附近,拟建海堤堤线外侧至少预留宽约 200 m 的盐沼草滩带,以保滩促淤;在拟建海堤堤线的内侧或外侧就地取土筑堤,结合草皮护坡和沿海防护林种植等,对穿越潮沟或部分低滩处,在堤脚处抛少量块石或种植互花米草等植被进行工程防护和护滩促淤。这种海堤选址思路是江苏古老围垦选址的继续^[29]。条子泥内缘区是江苏沿海典型的淤涨型海岸,其堤身防护的发展历程极具代表性,由表 5 可知,其海堤坡面堤身防护经历了几个阶段:草皮防护、草皮防护+吹沙袋防护、草皮防护+六角螺母块体生态护坡、钢筋混凝土板垫层+钢筋混凝土栅栏板护面,海堤典型断面见图 3^[30]。

而对于侵蚀型海岸,其海堤堤身防护通常包括块石护坡、钢筋混凝土护坡等,即便如此,由于江苏侵蚀性海岸自然侵退的趋势难以逆转,海堤仍不时需要维修加固。以废黄河口海岸为例,由于 20 世纪 70 年代海岸防护工程建造后,河口区基本停止后退却转为以滩面下蚀为主。“保堤先保滩”已经成为此类侵蚀性海岸海堤防护的重要原则。以六合桩段海堤为例,堤顶采用反弧挡浪墙,墙顶高程为 7.0 m,接 1:3 现浇 C20 砼护坡至高程 2.6 m,在高

程 2.6 m 处设一道宽度为 5.0~6.0 m 的 M15 浆砌块石平台。浆砌块石平台外设坡度为 1:4~1:5 的扭王字块体护面。扭王字块体护面外侧 25 m 范围内再用抛石保滩^[20]。堤外保滩工程分为两部分,一部分为管桩顺坝,另一部分为封头丁坝(图 4)。潜堤之类的保滩工程一般建在半潮位附近的海滩上,堤顶高程一般在平均高潮位以下。相关研究表明,潜堤内侧海滩得到了一定程度的保护,但潜堤外侧的海滩仍处于持续的自然侵蚀过程之中,潜堤外坡失稳、堤身下滑,再加上风浪对堤身结构的破坏,使潜堤的消浪保滩作用难以充分发挥,如何保护潜堤也是一个棘手的问题^[31]。生态海堤中的生物礁工程是否可以应用于潜堤的建设过程中,使之成为“成长型”的“活潜堤”,有效地保护近岸海域,是一个值得研究的方向。

4 结 语

江苏海堤建设历史悠久,经过了挡潮土堤和达标海堤等不同阶段,迄今为止除少量砂质海岸和基岩海岸之外均建有海堤工程。对于江苏淤涨型海岸而言,除辐射沙脊群外潮间带滩涂面积有限,未来进行大规模围垦工程新建海堤的可能性相对较小;而对于侵蚀型海岸而言,海岸防护工程的需要日益迫切。

生态海堤在充分考虑自然条件和防潮安全基础上,生态化改造混凝土、块石等刚性护面结构,营造植物护岸、盐沼湿地等海岸生态系统,构建生物礁潜堤等具有自我修复功能的“活”潜堤,形成以抗御台风风暴潮为主,兼顾绿化、湿地及生物多样性保护等多目标的生态海堤模式。在未来全球变暖、海平面上升等因素影响下以及保障海岸生态环境可持续发展的背景下,生态海堤是未来海堤工程建设的发展方向。

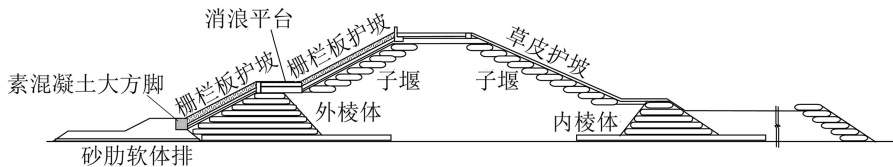


图 3 条子泥一期围垦工程海堤典型断面

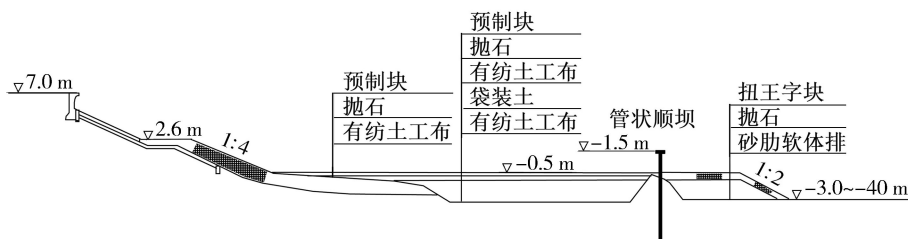


图 4 六合庄段海堤修复工程断面

参考文献:

- [1] SAHOO B, BHASKARAN P K. Multi-hazard risk assessment of coastal vulnerability from tropical cyclones: a GIS based approach for the Odisha coast[J]. *Journal of Environmental Management*, 2018, 206:1166-1178.
- [2] 严恺. 海岸工程[M]. 北京:海洋出版社, 2002.
- [3] 国家发展改革委, 水利部. 全国海堤建设方案[R]. 北京:国家发展改革委, 水利部, 2017.
- [4] 左其华, 窦希萍. 中国海岸工程进展[M]. 北京:海洋出版社, 2014.
- [5] MA Zhijun, MELVILLE D S, LIU Jianguo, et al. Rethinking China's new great wall[J]. *Science*, 2014, 346:912-914.
- [6] ADGER W N, HUGHES T P, FOLKE C, et al. Social-ecological resilience to coastal disasters[J]. *Science*, 2005, 309:1036-1039.
- [7] BAIRD A H, CAMPBELL S J, ANGGORO A W, et al. Acehnese reefs in the wake of the Asian tsunami[J]. *Current Biology*, 2005, 15:1926-1930.
- [8] DANIELSEN F, SORENSEN M K, OLWIG M F, et al. The Asian tsunami: a protective role for coastal vegetation[J]. *Science*, 2005, 310:643.
- [9] HUGHES T P, BAIRD A H, BELLWOOD D R, et al. Climate change, human impacts, and the resilience of coral reefs[J]. *Science*, 2003, 301:929-933.
- [10] KATHIRESAN K, RAJENDRAN N. Coastal mangrove forests mitigated tsunami[J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2005, 65:601-606.
- [11] SCHLACHER T A, DUGAN J, SCHOEMAN D S, et al. Sandy beaches at the brink[J]. *Diversity and Distributions*, 2007, 13:556-560.
- [12] TIBBETS J. Louisiana's wetlands: a lesson in nature appreciation[J]. *Environmental Health Perspectives*, 2006, 114:40-44.
- [13] 张长宽. 江苏省近海海洋环境资源基本现状[M]. 北京:海洋出版社, 2013.
- [14] 陈君, 王义刚, 蔡辉. 江苏沿海潮滩剖面特征研究[J]. *海洋工程*, 2010, 28(4):90-96. (CHEN Jun, WANG Yigang, CAI Hui. Profile characteristics study of the Jiangsu coast[J]. *The Ocean Engineering*, 2010, 28(4):90-96. (in Chinese))
- [15] 任美镠. 江苏省海岸带和海涂资源综合调查[M]. 北京:海洋出版社, 1986.
- [16] 陈伯琳. 江苏海堤建设史[J]. *江苏水利*, 1999(4):48. (CHEN Bolin. History of Jiangsu seawall construction[J]. *Jiangsu Water Resources*, 1999(4):48. (in Chinese))
- [17] 鲍俊林, 高抒. 苏北捍海堰与“范公堤”考异[J]. *中国历史地理论丛*, 2015(30):22-30. (BAO Junlin, GAO Shu. A study on the seawalls of northern Jiangsu and the “Fan Gong Dike”[J]. *Journal of Chinese Historical Geography*, 2015(30):22-30. (in Chinese))
- [18] 陈长奇, 赵一哈. 江苏海堤工程建设的调查和思考[J]. *江苏水利*, 2019(11):9-12. (CHEN Changqi, ZHAO Yihan. Investigation and consideration on construction of seawall project in Jiangsu Province[J]. *Jiangsu Water Resources*, 2019(11):9-12. (in Chinese))
- [19] 国家海洋局. 1997年中国海洋灾害公报[R]. 北京:国家海洋局, 1998.
- [20] 王登婷, 陈长奇, 赵一哈, 等. 江苏省海堤建设及生态海堤研究[M]. 北京:海洋出版社, 2020.
- [21] 中华人民共和国水利部. 海堤工程设计规范: GB/T 51015—2014[S]. 北京:中国计划出版社, 2014.
- [22] 赵鹏, 朱祖浩, 江洪友, 等. 生态海堤的发展历程与展望[J]. *海洋通报*, 2019, 38(5):481-490. (ZHAO Peng, ZHU Zuhao, JIANG Hongyou, et al. The development and outlooks of the ecological seawall[J]. *Marine Science Bulletin*, 2019, 38(5):481-490. (in Chinese))
- [23] 国家海洋局. 2017年中国海平面公报[R]. 北京:国家海洋局, 2018.
- [24] 中华人民共和国水利部. 防洪标准: GB 50201—2014[S]. 北京:中国计划出版社, 2014.
- [25] 中华人民共和国水利部. 水利水电工程等级划分及洪水标准: SL252—2000[S]. 北京:中国水利水电出版社, 2000.
- [26] 中华人民共和国水利部. 堤防工程设计规范: GB 50286—2013[S]. 北京:中国计划出版社, 2013.
- [27] 中华人民共和国水利部. 滩涂治理工程技术规范: SL 389—2008[S]. 北京:中国水利水电出版社, 2009.
- [28] 江苏省农业资源开发局. 江苏沿海垦区[M]. 北京:海洋出版社, 1999.
- [29] 陈才俊. 从近期几例海堤垮塌分析江苏的海堤工程[J]. *海洋通报*, 1997, 16(2):37-43. (CHEN Caijun. Analysis of seawall engineering in Jiangsu from recent destroyed seawalls[J]. *Marine Science Bulletin*, 1997, 16(2):37-43. (in Chinese))
- [30] 徐亮, 吴彩娥, 陈茹. 江苏条子泥 I 期匡围海堤设计关键技术[J]. *水利经济*, 2012, 30(4):57-60. (XU Liang, WU Caie, CHEN Ru. Key technologies for design of sea dykes of Tiaozini 1st stage project in Jiangsu Province[J]. *Journal of Economics of Water Resources*, 2012, 30(4):57-60. (in Chinese))
- [31] 虞志英, 劳治声, 金庆祥, 等. 淤泥质海岸工程建设对近岸地形和环境影响[M]. 北京:海洋出版社, 2003.

(收稿日期:2021-07-09 编辑:刘晓艳)

