

侵蚀海岸典型潜堤保滩方案探讨及建议

黄 哲¹, 掌孝永², 赵一晗³, 甄 峰⁴, 孙加月², 王登婷¹

(1. 南京水利科学研究院, 江苏 南京 210024; 2. 灌云县水利局, 江苏 连云港 222299;
3. 江苏省水利厅, 江苏 南京 210029; 4. 江苏省水利工程科技咨询股份有限公司, 江苏 南京 210029)

摘要:江苏海堤多数已建成超过15 a, 长期服役期间受海床侵蚀、水动力条件增强、不均匀沉降等影响, 部分区段发生被动降标。随着海州湾北部及废黄河三角洲两翼等岸段海床持续下蚀, 亟需采取保滩措施, 以保障后方堤防及陆域安全。潜堤是一种较常见且有效的保滩措施, 总结了国内外侵蚀岸段应用丁、顺坝等潜堤保滩的典型工程案例, 并以灌云县保滩加固工程为例, 提出了潜堤保滩方案的建议。

关键词:侵蚀海岸; 潜堤; 保滩工程

中图分类号: TV871

文献标识码: B

文章编号: 1007-7839(2025)02-0065-0004

Discussion and suggestions on typical submerged breakwater beach protection schemes for erosion coast

HUANG Zhe¹, ZHANG Xiaoyong², ZHAO Yihan³, ZHEN Feng⁴,
SUN Jiayue², WANG Dengting¹

(1. Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210024, China;

2. Guanyun County Water Resources Bureau, Lianyungang 222299, China;

3. Water Resources Department of Jiangsu Province, Nanjing 210029, China;

4. Jiangsu Water Conservancy Engineering Technology Consulting Co., Ltd., Nanjing 210029, China)

Abstract: Most of the seawalls in Jiangsu have been built for more than 15 years, and during their long term service, they have been affected by seabed erosion, enhanced hydrodynamic conditions, uneven settlement, and other factors, resulting in passive degradations in some sections. With the continuous erosion of the seabed in the northern part of Haizhou Bay and the two wings of the abandoned Yellow River Delta, it is urgent to take beach protection measures to ensure the safety of the rear embankments and land areas. Submerged breakwater is a common and effective beach protection measure. This article summarizes typical engineering cases of beach protection using submerged breakwaters such as spur and longitudinal dams in eroded coastal sections at home and abroad, and taking the beach protection and reinforcement project in Guanyun County as an example, puts forward suggestions for the submerged breakwater beach protection scheme.

Key words: erosion coast; submerged breakwater; beach protection project

收稿日期: 2024-10-25

基金项目: 江苏省水利科技项目(2022027)

作者简介: 黄哲(1993—), 男, 工程师, 硕士, 从事波浪与建筑物相互作用研究。E-mail: zhuang@nhri.cn

通信作者: 王登婷(1976—), 男, 正高级工程师, 博士, 从事波浪与建筑物相互作用研究。E-mail: dtwang@nhri.cn

1 研究背景

自从1998年达标建设开始,江苏海堤多数已建成超过15 a,按省水利厅苏水管(1997)80号文确定其工程设计标准为50 a一遇。然而,海堤长期服役期间,随着海州湾北部及废黄河三角洲两翼等岸段海床持续下蚀^[1],已建成海堤难以满足现状滩面及相应水动力条件下的防洪潮需求,需采取保滩措施,以保障后方堤防及陆域安全^[2]。

潜堤是目前江苏应用较多的且有效的保滩措施^[3]。潜堤常用于航道及岸滩工程,主要起到保滩促淤、整治航道、防浪导流的作用,同时潜堤的存在也可以让部分波浪提前破碎,从而可以起到保护后方主海堤、减小后方主海堤堤顶越浪量的作用^[4]。

潜堤的结构有多种形式,其中斜坡式结构最为常见,在淤泥质、粉砂质底床这类海床基础较差、容易发生不均匀沉降的地方,也可采用桩基式结构的潜堤。其中抛石潜堤是最为常用的斜坡式潜堤结构,而在波浪动力较强的区域也可使用人工块体护面。此外,我国比较具有代表性的预制混凝土潜堤的结构形式是半圆形结构,这种结构在渤海海域以及长江口都有应用^[5]。

本文总结了国内外侵蚀岸段应用丁坝、顺坝等潜堤保滩的典型工程案例,并以灌云县保滩加固工程为例,提出了潜堤保滩方案的建议。

2 江苏省侵蚀性岸段保滩工程

江苏省海岸线总长954 km,其中侵蚀型海岸占25.8%左右,主要集中在烧香河口至射阳河口间的废黄河三角洲,其中埭子口以南至双洋港间的岸段大都采取了一定保滩措施。

埭子口以南至双洋港间的保滩措施可基本分为3种类型,类型1采用抛石顺坝与丁坝结合的保滩措施,类型2采用管桩顺坝与丁坝结合的保滩措施,类型3采用抛石顺坝的保滩措施。

2.1 保滩类型1

类型1位于埭子口以南至灌河口北侧。该区段受黄河北归、沙源减少影响,滩面呈侵蚀状态且影响到海堤稳定,为保障海堤及后方陆域安全,采取了抛石顺坝及丁坝结合的保滩措施,抛石顺坝及丁坝均采用混凝土板护面。除水闸入海口外堤外未设置间隔,潜堤距离主海堤堤顶约80至100 m。垂直潜堤布置有丁坝,丁坝间距在400 m左右。

对比该区段潜堤内侧、外侧滩面高程,在同一

时刻相同水位条件下,潜堤内侧滩面高程仍明显高于外侧滩面,可见尽管潜堤外侧滩面处于冲刷状态,但在潜堤与丁坝的掩护之下,该区段主海堤与潜堤之间的滩面仍保持了基本稳定。

2.2 保滩类型2

类型2位于灌河口南至夸套河口以北,位于废黄河三角洲,是自黄河北归以来江苏省侵蚀最为严重的岸段。采用管桩顺坝与丁坝结合的保滩措施。

以六合庄以南至振东闸北侧段为例,管桩在日常水位下为出水状态,高水位条件下为淹没状态。顺坝纵轴线与达标海堤堤脚之间距离为70 m。管桩桩径50 cm,桩心间距85 cm,管桩顶高程+2.0 m,上部为直径70 cm的C20钢筋混凝土桩帽梁,顶高程+2.12 m,外海侧10 m范围采用35 cm×35 cm×35 cm C20现浇混凝土预制块,底层不小于60 kg块石,背海侧5 m范围采用单个重量大于等于60 kg块石,厚度为0.7 m。

参考滨海港周边典型侵蚀岸段滩面实测结果,顺坝外侧近桩处呈侵蚀状态,且剖面呈双凹型,表明剖面侵淤状态尚未达到平衡;而顺坝内侧滩面呈一定淤积状态,最大淤积深度达50 cm,表明管桩消浪防侵蚀效果显著。

2.3 保滩类型3

类型3主要位于夸套河口及其以南至双洋港段,近年来,受废黄河三角洲侵蚀南移影响,该区段侵蚀速率明显加快。为保护主海堤及后方陆域安全,采用了抛石顺坝作为保滩措施。

该区段顺坝采用抛石堤心,坝坡及坝顶采用35 cm×35 cm×35 cm混凝土预制块,坝顶高程为2.5 m。对比顺坝内侧、外两侧,在同一时刻相同水位下,顺坝外侧滩面明显低于静水面,而顺坝内侧仍为干滩,且部分区段滩面有植被覆盖,可见顺坝此前起到了较好的保滩、促淤效果。

3 我国其他沿海省份典型潜堤保滩措施

3.1 秦皇岛北戴河西海滩整治修复工程

秦皇岛市海岸线长度162.7 km。近年来,由于入海泥沙减少、极端天气频发等多种原因所致,秦皇岛北戴河段海滩侵蚀后退严重。

秦皇岛北戴河西海滩整治修复工程位于戴河口北侧,为一个狭长的天然岬湾。为保护岸滩资源,采用“覆植沙丘-滩肩补沙-人工沙坝-离岸潜堤”的海滩静态平衡生态修复模式(图1):在海滩后滨设计沙丘,种植固沙植被,形成生态海堤;构建人

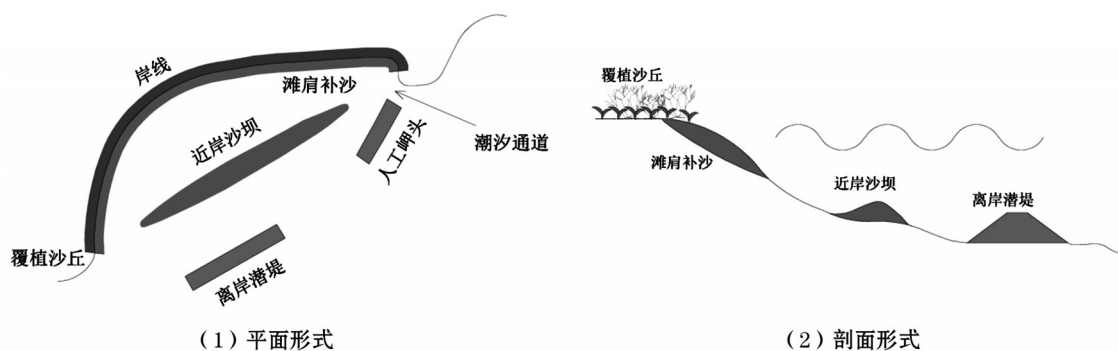


图1 秦皇岛北戴河段海滩修复模式

工沙坝,营造海滩沙源引擎;同时顺岸建造潜堤,起到消浪作用^[6]。

该修复模式通过透水潜设式人工岬头并预留潮汐通道,可有效保证岬湾的水体交换能力;通过人工沙坝和离岸潜堤的组合应用及合理设计,起到消浪和沙源补给的多重保护。经过2年时间的海岸沙滩整治修复,干滩由原有的0~5 m增至50 m左右。

3.2 唐山湾祥云岛岸滩修复保护工程

近年来由于入海泥沙减少,唐山市沙质岸线补给物断绝,沙坝标高降低,沙滩快速萎缩。唐山湾祥云岛岸滩修复保护工程位于唐山湾三岛旅游区最大的无居民海岛——祥云岛,工程区沙滩由于位于京唐港防波堤下游,防波堤直接拦截了上游来沙。

沙滩修复工程包括滩肩补沙和离岸潜堤。根据 Mepbay 抛物线经验公式计算,布设人工沙坝位置;顺岸布设潜堤,构成消浪减能的防护工程,离岸距离 300~400 m,布置处海底高程-4 m 左右,方向平行于海岸线。潜堤选用空心块体型式,规格为 2.8 m×2.8 m×2.8 m,其中四面开直径 0.5 m 圆孔,见图2。

3.3 东营胜利滩海油田潜堤促淤工程

因滩海原油生产受海潮影响非常严重,胜利滩海油田地区于20世纪70年代中期开始修建海堤来作为安全屏障。随着黄河1976年的改道及近年水沙数量的锐减,工程区岸滩出现了持续蚀退的现象。

为保护海堤及陆域安全,自1999年开始采用离岸潜堤进行保滩促淤,其中飞雁滩潜堤促淤研究分两期进行。一期研究共进行了矩形、拱形、梯形、槽型4种潜堤断面的试验。经试验,4种结构消浪效果由好到差分别为槽型、矩形、梯形、拱形。

在二期研究中,优化设计了单排桩堆石堤、竹笼堆石堤、双排管桩堆石堤堆石堤3个方案。从3个方案的模型试验及工程实施来看,双排管桩堆石堤方案最优,并得到推广使用。

在工程建设成后第一年平均淤积速度可达40 cm/a以上。在淤积过程中,当堤后的滩地高程淤积到堤顶高程以下1 m左右时,堤后的滩地受波浪影响较大,基本不再发生淤积。

3.4 三亚三美湾海滩整治工程

三亚三美湾海滩整治工程位于三美湾西侧,距

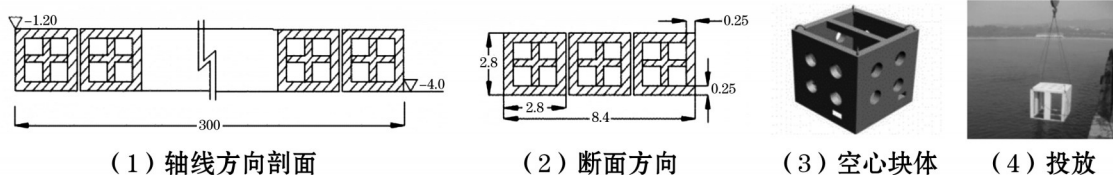


图2 唐山湾祥云岛岸滩修复保护工程离岸潜堤示意(单位:m)

离三亚凤凰机场约25 km,距离三亚市区约30 km。由于湾区为U型高能海湾,湾外300 m即为-6 m水深,湾口直接面对强常浪向侵扰,形成的自然海滩滩面较窄(<20 m)、海滩坡度较陡(>10°)、滩面表层沉积物颗粒较粗(平均粒径>0.5 mm)。

根据海湾岬角的形态、岸滩及水下岸坡的走势、现有海滩岩的分布情况,确定采用两道潜堤。浅水区为一道拦沙潜堤,拦沙潜堤布置于水下岸坡坡度突然变陡处,即破波水深附近,两端分别接东西岬角,呈内折型布置(近似弧形),其主要作用是

拦截横向波浪输沙,减少人工养滩沙的流失率,同时进一步削减外海传入的波浪。在拦沙潜堤外侧约120 m布置防波潜堤,防波潜堤呈弧形布置,主要作用是削减外海波浪,防波潜堤与拦沙潜堤之间的缓冲水域也有利于波浪的进一步削弱和破碎。

4 国外典型潜堤保滩措施

在亚洲、欧洲、美洲、大洋洲等各大洲的沿海国家,离岸潜堤均有着广泛的应用。

巴图梅扬海滩是位于印尼巴厘岛巴东县的著名旅游景点。由于巴图梅扬海滩的侵蚀问题,当地政府建设了护岸系统来保护海岸。然而,之前为巴图梅扬海滩修建的护岸目前已经失效和损毁,因此新建潜堤工程营造了新的海岸防护系统,以减少到达岸边之前的波浪能量,并减少现有护岸的侵蚀和进一步恶化。潜堤堤顶高程与设计低水位相同,采用四角锥块体护面。

在夏威夷 Kahului 商业港,通过建造离岸潜堤,实现了护港和增强底栖生物栖息地等多种用途。首先对环境条件和生物礁群落组成进行了评价,并且在该潜堤设计过程中遵循工程原则的同时,兼顾了生态和环境的考虑。离岸潜堤布设于地基松软且珊瑚礁覆盖率低的深水区域,采用斜坡堤结构,通过减轻波浪冲击为后方船舶停靠提供了掩护水域;另一方面,潜堤的顶部能受到更多的阳光照射,有利于珊瑚礁的生长,同时堤顶破浪破碎产生的水流有助沉积物的悬浮和输移,促进了珊瑚礁的生长。因此,潜堤堤顶也为珊瑚礁提供了新的栖息地,起到了改善而不是退化珊瑚礁生存环境的作用。

西班牙拥有着长达上千公里的海滩和世界先进的岸滩整治技术,这些海滩之间又有着很大的差异,有些与森林相伴,有的布满沙丘,有的则隐藏在峡湾之间,而其中潜堤对西班牙海岸线的防护起到了很大的作用。

法国蒙特卡罗雷亚尔湾建造的人工海滩中潜堤也起到了较好的保滩效果。

5 灌云县新建保滩加固工程的建议

灌云县现状保滩工程建设方案参考保滩类型1,已建保滩工程起到了较好的促淤效果,而灌云县东侧靠近灌河堤部分区段目前无保滩工程,计划新建丁坝及顺坝,本文通过现场调研及模型试验对新建丁坝、顺坝的平面布置方案提出建议。

(1) 丁坝布置密度

丁坝、顺坝及主海堤组成了封闭的水域环境,涨潮时涨潮流及波浪携带外海高含沙量水体越过顺坝顶部,由于波高及流速减小,水体携沙能力减弱,泥沙在顺坝及主海堤间发生落淤;在落潮时,落淤泥沙不会随落潮水流从封闭水域内排出。也正如现场观测的情况所见,现状丁坝、顺坝组合起到了较好的促淤效果,顺坝内侧的滩面高程明显高于外海一侧。

由于灌云县南、北两侧分别修建有灌河口双导堤、徐圩港防波堤,沿岸输沙较小,工程区海床冲淤演变主要是受到垂直于堤轴线的横向输沙的影响,即顺坝对该海域的促淤重要程度要远高于丁坝。

因此,建议丁坝布置密度可维持现有400m间隔的布局。

(2) 顺坝离岸距离

开展了70 m、100 m、120 m等不同顺坝与主海堤间距越浪量试验。结果表明,70 m、100 m、120 m间距对应的越浪量基本相同,可见当顺坝与主海堤间距大于一倍波长后,顺坝后方波高基本稳定,间距增大对波能损耗的作用有限。同时,在现场极端气候条件下,波浪越过顺坝向主海堤传播过程中会有风能输入,并且外海侧滩面降低,会增大顺坝工程量、造价及自身稳定性的风险,因此间距不宜过大。若顺坝与主海堤间距小于一倍波长,则主海堤仍位于波能释放区域,破碎波对主海堤的作用力相对较强。

因此,结合现状,已保滩段顺坝与主海堤间距为100 m,考虑到新建段与已建段的衔接,新建顺坝段顺坝坝轴线与主海堤堤脚间距建议取100 m。

6 潜堤保滩的几点思考及建议

本文通过国内外潜堤保滩典型案例搜集与分析,为不同类型侵蚀性海岸潜堤防护提供了参考,主要思考及建议如下:

(1)开展潜堤保滩研究前,需首先分析海岸侵蚀原因,并针对性提出相应的保滩措施。

(2)根据侵蚀原因,可分为波浪侵蚀、潮流侵蚀、波流侵蚀。其中波浪侵蚀多引起横向输沙,可采取顺坝防护;潮流侵蚀多引起横向输沙,可采用丁坝防护;波流侵蚀可采用丁坝、顺坝防护。

(3)采用潜堤保滩时,一方面需评估保滩工程对实施区域的促淤效果,另一方面也需要论证工程

(下转第72页)

或盘点其他信息的自动记录,并可与人工巡查互相印证。

结合基于特征的图像识别算法、目标定位算法、自动巡航策略以及全天候图像增强技术,基于点特征的图像匹配、基于边缘强度特征的图像匹配、基于边缘(线)特征的图像匹配以及基于曲面特征的图像匹配技术,AI系统通过RFID、条形码或二维码、图像识别等技术实时监控物资的进出情况,确保库存数据的准确性。

4.3 仓储环境管理

(1) AI烟雾识别

基于计算机视觉和深度学习技术,以AI烟火检测深度学习算法为基础,提供高识别率、高效率的算法引擎和业务应用。通过智能识别分析,自动识别烟火目标,做到事前预警、事中管控、事后取证,节省人力成本,降低安全隐患,提高管理效率。

(2) 人脸识别

确保进出仓库人员的安全,做到可控可防,外来人员的信息未录入系统,使用其抓拍照片与数据库进行识别比对,无对应人员信息则会预警,提示管理人员处理。

5 结 语

基于人工智能AI技术的水旱灾害防御物资智能化仓储管理关键技术的研究和运用,具有重要的现实意义和广阔的应用前景。数据驱动的决策支持大数据分析和智能决策支持系统将成为仓储管理的重要工具,不断提高仓储管理的效率和准确性,为管理者提供更加精准和科学的决策参考,为水旱灾害防御物资保障工作提供更加有力的技术支撑。

参考文献:

- [1] 王伟,张泰山,陈志松,等.混合储备模式下洪涝灾害应急物资配置结构优化[J].河海大学学报(自然科学版),2022,50(4):66-73.
- [2] 关键荣.图像识别技术在“AI+安防”服务实战中的应用[J].无线互联科技,2022,19(10):81-83.
- [3] 李相亮.AI识别技术在仓库入库环节的应用[J].电子技术与软件工程,2022(23):166-169.
- [4] 赵星,吉康,林灏,等.基于多目标路径规划的应急资源配置模型[J].华南理工大学学报(自然科学版),2019,47(4):76-82.
- [5] 柳景斌,赵智博,胡宁松,等.武汉大学学报[J].2022,47(7):23-27.

(上接第68页)

对上、下游其他岸段的冲淤影响。

(4)新建顺坝与主海堤的间距建议在1~2倍波长之间,具体结合等深线走向确定。

(5)地基承载力较差的海域,可采用管桩或抛填人工礁体的形式进行筑坝,以更好适应不均匀沉降。

(6)针对海湾类型的波能集中海岸,可采用人工岬头-离岸沙坝-近岸沙坝的综合保滩模式。

参考文献:

- [1] 张林.苏北废黄河三角洲海岸冲淤演变及其控制因素

[D].上海:华东师范大学,2016.

- [2] 赵一晗,黄哲,王登婷.侵蚀岸段海堤破坏机理及修复方案[J].水运工程,2022(7):23-28.
- [3] 李泽龙,孙林云,唐磊,等.河口海岸保滩促淤方式及水沙机理研究综述[J].中国港湾建设,2018,38(11):1-8.
- [4] 蔡锋,刘根.我国海滩养护修复的发展与技术创新[J].应用海洋学学报,2019,38(4):452-463.
- [5] 边峰,黄哲,据烈红.不同结构形式潜堤消浪性能物理模型试验研究[J].水运工程,2020(8):36-41.
- [6] 杨燕雄,张甲波,刘松涛.秦皇岛海滩养护工程的实践与方法[J].海洋地质前沿,2014,30(3):1-15.