

海堤工程除险加固措施分析

杨增光

中铁一局集团华东建设工程有限公司 浙江 宁波 315000

摘要：海堤作为沿海防灾核心设施，受波浪、潮汐等作用易出现坍塌、滑坡与渗透破坏等险情。工程设计缺陷、施工质量不佳及运行管理疏漏加剧风险。针对此，通过堤身加固、堤坡防护、堤基处理及信息化监测预警等综合措施，可提升海堤稳定性与耐久性。采用混凝土构筑、注浆加固、连锁式护坡、强夯法等技术，结合实时位移、渗流及波浪潮位监测，能有效降低灾害损失，实现防灾减灾与生态保护协同发展。

关键词：海堤工程；除险加固；措施

引言

沿海地区经济社会发展高度依赖海堤工程的安全稳定。然而，波浪动力冲击、潮汐作用及海平面上升，使海堤面临结构损伤、渗透破坏等多重威胁。传统设计标准下的海堤难以抵御极端灾害，工程设计、施工及管理环节的不足进一步加剧险情隐患。本文基于浙江宁波、舟山等地实践，系统分析海堤常见险情成因，探讨堤身加固、堤坡防护、堤基处理及信息化监测预警等除险加固措施，为沿海地区海堤安全保障提供技术参考。

1 海堤工程除险加固的重要性

海堤工程作为沿海地区抵御风暴潮、海浪侵蚀及洪水侵袭的关键屏障，其除险加固关乎区域经济发展、生态稳定与人民生命财产安全。以浙江沿海的宁波、舟山为例，长期受波浪动力冲击、潮汐周期性作用及地基土体特性影响，海堤易出现堤身裂缝、沉陷、滑坡等结构性病害。加之海平面上升趋势持续加剧，既有海堤的防御能力逐年削弱，潜在风险不断累积。从工程力学角度剖析，海浪对堤身的冲击力呈现复杂的非线性特征，当波高、周期与海堤固有频率产生共振效应时，堤身结构所承受的动荷载将成倍增加，极易引发局部破坏。渗透作用在堤身内部形成的水力梯度，若超过土体临界水力坡降，会诱发管涌、流土等渗透破坏现象，逐步掏空堤基，导致堤身失稳。台风、强潮等极端天气事件频发，进一步加剧了海堤工程面临的风险，使得传统设计标准下的海堤难以满足新形势下的防护需求。宁波、舟山等地在海堤除险加固过程中，积极采用新型复合材料与创新施工工艺，如土工合成材料加筋技术、生态护坡技术，不仅能提高堤身强度与稳定性，还可实现生态修复与景观改善的多重效益。在加固过程中，对堤身结构进行动态监测与仿真分析，可精准掌握其力学性能变化，确保加固措施科学有效。通过对海堤基础进行深层次

理，增强地基承载能力，有效抑制沉降变形，为堤身提供稳固支撑，延长工程使用寿命。实践证明，及时且科学的海堤除险加固，能有效降低灾害损失，保障沿海地区生产生活秩序。在应对气候变化与极端灾害的挑战中，海堤工程的除险加固已成为沿海地区提升防灾减灾能力、实现可持续发展的重要工程举措，其对维护区域生态平衡、促进经济社会健康发展具有不可替代的战略意义。

2 海堤工程常见险情及原因分析

2.1 常见险情

2.1.1 堤身坍塌

堤身坍塌是海堤工程面临的严峻问题之一，其发生往往具有突发性和破坏性。在宁波、舟山等地，海浪长期的冲击作用使得堤身外侧不断承受波浪破碎产生的动水压力、上举力及底流速冲刷。以舟山某海堤为例，当海浪以较大的能量拍打堤身，会形成强烈的冲击力，使堤身结构的完整性遭到破坏。若堤身材料本身强度不足，难以抵御海浪的反复冲击，就会逐渐出现裂缝、剥落等现象。随着时间推移，这些损伤不断累积，当堤身结构无法承受内部应力与外部荷载时，便会发生坍塌。潮水的涨落使堤身处于干湿交替的环境，加速了堤身材料的风化和劣化，进一步降低了堤身的稳定性。堤基若存在软弱夹层或不均匀沉降，也会导致堤身受力不均，从而引发坍塌事故，严重威胁海堤安全及周边区域的防洪防潮能力。

2.1.2 堤坡滑坡

堤坡滑坡的发生与多种因素密切相关。海堤堤坡在波浪、水流作用下，坡面土体受到侧向力的影响，当这些侧向力超过土体的抗剪强度时，便会产生滑动趋势。在宁波沿海的一些海堤，高水位运行期时，堤坡土体因长时间浸水，含水率增加，重度增大，导致土体抗剪强

度显著降低。水的渗流作用会在堤坡内部形成渗流力，进一步削弱土体的稳定性，促使滑动面的形成。若堤坡坡度设计不合理，过陡的坡度会使土体的下滑力增大，而抗滑力相对减小，增加了滑坡的风险。堤坡表面植被稀少或被破坏，无法有效固土护坡，也会使坡面土体更容易在水流和波浪作用下失稳，最终引发堤坡滑坡，破坏海堤的整体结构^[1]。

2.1.3 渗透破坏

渗透破坏是海堤工程中较为隐蔽但危害极大的险情。在海堤两侧存在水位差的情况下，水会通过堤身或堤基的孔隙、裂隙等通道发生渗流。当渗流速度超过土体的临界渗透速度时，土体颗粒会被水流逐渐带走，导致土体结构破坏，这种现象称为管涌。若渗流持续发展，管涌通道会不断扩大，形成集中渗漏，进一步削弱堤身或堤基的强度。在渗流作用下，堤身或堤基土体还可能出现流土现象，即土体在渗流力作用下整体向上浮动或隆起，使海堤结构失去稳定。堤身材料的渗透性不均匀，或者堤基存在强透水层，都会加剧渗透破坏的程度。一旦发生渗透破坏，若不及时处理，可能会迅速发展成重大险情，危及海堤安全。在舟山部分海堤就曾因渗透破坏导致堤身局部塌陷，严重影响了海堤的正常使用。

2.2 原因分析

2.2.1 工程设计不合理

工程设计环节对海堤的安全性和稳定性起着关键作用。在宁波、舟山等地的一些海堤设计中，若对当地的水文地质条件勘察不充分，未能准确把握海浪、潮汐、水流等动力因素以及堤基地质结构情况，就会导致设计参数选取不当。例如，对海浪的波高、周期等要素估计不足，设计的海堤断面尺寸无法抵御实际海浪的冲击，使得堤身在运行过程中易出现坍塌等险情。堤坡坡度设计不合理，没有充分考虑土体的物理力学性质和稳定性要求，也会增加堤坡滑坡的风险。在防渗设计方面，如果对堤身和堤基的渗透特性认识不足，没有采取有效的防渗措施或防渗结构设计不合理，会导致渗流破坏问题的发生。不合理的工程设计为海堤后续运行埋下了诸多隐患，严重影响海堤的安全性能。

2.2.2 施工质量问题

施工质量的优劣直接关系到海堤工程的实际性能。在宁波某海堤的堤身填筑过程中，若土料的选择不符合设计要求，土料的含水率、压实度等指标不达标，会使堤身土体的密实度不足，强度降低，难以承受外部荷载和水流作用。例如，使用了含水量过高或含有大量杂质的土料，填筑后无法达到设计的压实效果，在后期运行

中容易出现裂缝、沉降等问题，进而引发堤身坍塌或渗透破坏。施工过程中的施工工艺不规范，如分层填筑厚度过大、碾压不密实等，也会导致堤身结构的整体性和稳定性下降。在堤身防护结构和防渗设施施工时，如果施工质量不合格，防护结构无法有效抵御海浪冲击，防渗设施不能起到良好的防渗作用，会加速海堤险情的发生和发展，严重威胁海堤工程的安全运行。

2.2.3 运行管理不善

海堤建成后的运行管理是保障其安全的重要环节。在舟山的一些海堤，长期缺乏对海堤的定期检查和维修，无法及时发现堤身表面的裂缝、剥落，以及堤基的渗漏等初期病害。这些病害若得不到及时处理，会在外部因素作用下不断发展扩大，最终引发严重险情。对海堤周边环境的管理不当，如在堤身附近随意取土、堆放重物，会改变堤身的受力状态，增加堤坡滑坡的风险。在海堤运行过程中，若不根据实际水文条件合理调度，过度蓄水或排水，会使堤身和堤基承受不合理的水压力和渗流力，导致堤身结构稳定性下降。运行管理不善使得海堤在面对自然因素和外部荷载时，无法保持良好的工作状态，极大地增加了险情发生的可能性^[2]。

3 海堤工程除险加固措施分析

3.1 堤身加固

(1) 针对浙江沿海宁波舟山等区域海堤特点，采用混凝土或浆砌石构筑堤身主体结构。宁波镇海部分海堤加固选用高强度预制构件或优质石料，严格施工确保精准紧密。施工中加强关键环节质量把控，使堤身具备良好的耐久性与稳定性。(2) 针对堤身存在裂缝、空洞等隐患区域，运用注浆加固工艺进行修复。在舟山定海某海堤，采用高压旋喷注浆法，将水泥浆或其他高强度注浆材料以20-30MPa的压力注入堤身土体，浆液在压力作用下渗透、扩散并填充裂隙，与土体颗粒发生物理化学反应，形成强度较高的结石体，有效改善土体力学性能，提升堤身完整性。(3) 对于高度较高、受波浪作用力较大的海堤，在堤身内部增设土工格栅加筋结构。在宁波北仑的一些海堤，将高强度土工格栅按一定间距水平铺设于堤身填土中，通过格栅与土体间的摩擦作用和嵌锁效应，约束土体侧向变形，增强土体整体性，使堤身受力更为均匀，提高堤身在波浪荷载与渗流作用下的稳定性，降低堤身滑坡、坍塌风险。

3.2 堤坡防护

(1) 针对浙江沿海复杂水文条件，堤坡防护可采用联锁式混凝土块体护坡技术。在宁波象山海塘加固工程中，工厂预制带榫槽混凝土块，现场咬合铺设。块体厚

度12-18cm,配C30抗冻混凝土与钢筋网,预留伸缩缝,底部铺相关排水层,展现出良好的防浪护堤效果。(2)生态护坡技术在堤坡防护中兼具防护与生态功能。在舟山嵎泗的部分海堤采用土工格室植草护坡,将土工格室固定于堤坡表面,格室内填充适宜植物生长的营养土并播撒草种。植物根系深入土体,起到加筋固土作用,减少坡面水土流失,同时植被覆盖可缓冲波浪冲击力,降低坡面流速,且具有良好的景观效果,实现工程防护与生态修复的有机结合。(3)在舟山群岛等波浪作用强烈区域,钢丝石笼护坡技术经工程验证效果显著。在岱山海塘加固项目中,选用热镀锌高强度钢丝编织成网箱,填充当地花岗岩块石,石笼尺寸根据波浪力定制为2m×1m×0.5m规格。采用阶梯式错缝叠砌工艺,通过钢丝绞合连接形成柔性防护结构,利用石笼整体重量与透水性消解波浪能量。该技术有效抵御了台风期巨浪冲击,同时允许水体与堤坡间物质交换,维持近海生态连通性^[3]。

3.3 堤基处理

(1)针对浙江沿海淤泥质软土地基分布广泛的特点,强夯法是提升堤基承载力的有效手段。以宁波慈溪某海塘加固工程为例,重锤(10-20吨)从6-12m高自由下落夯击地基,施工时严控夯击次数与间距。经过处理后的地基承载力可提升30%-50%,有效减少海堤沉降变形。(2)对于深厚软土地基,深层搅拌桩加固技术效果显著。在舟山普陀某海塘项目中,利用特制的深层搅拌机,将水泥浆与地基土强制搅拌,使软土硬结形成具有整体性、水稳定性和一定强度的水泥土桩体。桩体直径通常为50-80cm,桩长根据软土层厚度确定,桩与桩相互搭接形成连续的加固区,有效提高地基抗剪强度,减少侧向变形,增强海堤整体稳定性。(3)当堤基存在浅层软弱夹层时,换填法是常用的处理方式。在舟山定海部分海塘加固中,将软弱土层挖除,换填级配良好的碎石、砂卵石等透水性材料,分层压实至设计要求。换填厚度根据软弱层厚度而定,一般为1-3m,通过换填处理,改善了地基受力条件,避免因软弱夹层导致的堤身不均匀沉降和失稳问题。

3.4 信息化监测与预警

(1)海堤工程的安全运行依赖于实时、准确的监测数据,位移监测是评估堤身稳定性的重要手段。在宁波、舟山等地的海堤,在堤顶、堤坡及堤基关键部位布设GNSS监测点与全站仪监测点,通过卫星定位与光学测量技术,实时获取海堤在波浪、潮汐等荷载作用下的水平位移与垂直位移数据,监测精度可达毫米级,及时发现堤身变形趋势,为安全评估提供数据支撑。(2)渗流监测是掌握海堤防渗性能的关键。在堤身与堤基内埋设渗压计与测压管,实时监测孔隙水压力与浸润线变化。渗压计通过传感器将压力信号转换为电信号传输至数据采集系统,测压管采用人工测量与自动化监测相结合的方式,获取不同深度的水位数据,分析渗流场分布与渗流变化规律,判断防渗设施的有效性,与堤身渗流稳定性。(3)波浪与潮位监测对于海堤抵御风暴潮等极端灾害至关重要。堤前水域设波浪仪,以声学多普勒原理监测波高、周期;设潮位站,用压力式或雷达式传感器记录潮位。结合气象预报,经数值模拟预测分析,数据超预警阈值即预警,为海堤安全运行与应急决策提供科学依据^[4]。

结语

综上所述,海堤工程除险加固对沿海地区防灾减灾、生态保护及经济社会可持续发展意义重大。通过剖析堤身坍塌、滑坡、渗透破坏等常见险情,明确工程设计、施工及运行管理等方面的致险因素,针对性提出堤身加固、堤坡防护、堤基处理及信息化监测预警等综合措施,可显著提升海堤安全性能。未来需持续优化技术方案,加强监测预警体系建设,为沿海地区筑牢安全屏障。

参考文献

- [1]黎志勇.海河堤除险加固工程措施分析[J].科技资讯,2023,21(12):172-175.
- [2]刘子琪.棉北海堤存在问题及除险加固措施[J].河南水利与南水北调,2023,52(12):49-50.
- [3]梁志标.海堤防护设计与除险加固技术的探讨[J].建筑工程技术与设计,2021(33):681-682.
- [4]张龙.棉北海堤除险加固工程设计研究[J].水利科学与寒区工程,2022,5(11):70-74.