

海堤工程病害分析与除险设计分析

吴金骏

北海市海河堤管理所 广西 北海 536000

【摘要】：随着海堤工程服役年限增加及海洋动力环境日趋复杂，在此情况下，传统的单一方面维护方式已不能适应海堤安全可靠运行需要。为了有效处理海堤工程在恶劣条件下所面临各种形式结构缺陷，本文首先介绍了海堤所处特定条件以及其自身特点；然后，针对堤身材料老化与结构失稳、堤基渗流破坏与管涌发生机理、防浪护面结构疲劳损伤以及排水反滤系统淤积堵塞等问题进行了详细阐述；最后给出了加强堤身材料恢复提高整体稳定性、设置堤基防水层防止渗流破坏等具体防治措施，从而达到对海堤工程缺陷进行精确治理并增强其抗灾能力目的。

【关键词】：海堤工程；病害；除险；材料；堤基

DOI:10.12417/2705-0998.26.06.113

前言

海堤是防御风暴潮、台风浪等自然灾害的重要设施，在保障沿海居民生命财产安全和社会经济发展方面发挥着至关重要的作用。但是近年来由于全球变暖导致极端气候增多，海平面上升趋势明显加剧，对海堤服役环境造成很大压力。同时传统的海堤长期受到海水腐蚀、波浪冲刷以及地基变化等多种因素综合作用的影响，自身性能和防护功能不断下降。另外一部分较早修建的海堤由于当时的设计理念和技术水平不足，在施工方法和材料选择方面存在一定的问题，而且已经到了或者即将到达使用寿命期，出现不同程度的老化现象。因此，系统研究海堤工程病害原因并提出有效的处理措施，是目前水利行业急需解决的问题。而进一步明确海堤工程在恶劣海域环境中的致灾机理，制定合理可行的除险方案，则对于提高我国海岸带抗御自然灾害的能力具有十分重要的现实意义以及长远的战略意义。

1 海堤工程的特点

海堤是防止海洋灾害发生的重要建筑物，与内陆河流上的防洪堤有着本质的区别。一方面，海堤位于特殊的海洋环境中，受到周期性的潮汐变化、波浪爬高、风暴潮增水的影响，其迎水面水流动速度较快，方向不定，给堤坝带来较大的动水压力和剪切应力；另一方面，海堤所处的人文地质环境较差，基础大多为软弱的淤泥质粘土或者疏松的粉细砂层，含水量较高，压缩性强，承载能力较低，在自重和外来荷载的作用下容易出现较大的沉降和不均匀变形。而且海堤处在海水侵蚀作用下，其中氯离子、硫酸根离子对于混凝土和钢筋都有很强的腐蚀作

用，使材料力学性能降低。此外，由于海堤有挡潮、排水、交通和休闲等功能，因此它的横截面形状要兼顾安全性和经济性以及生态环境等因素，这就决定了海堤工程在设计方法、施工技术和后期养护方面都比较复杂^[1]。

2 海堤工程的常见病害分析

2.1 堤身材料劣化与结构失稳

堤身材料劣化是造成海堤结构性能衰退的重要原因。经过较长时间的物理化学等因素影响后，堤身填土中所含黏粒含量逐渐减少，团粒结构遭到破坏，从而使土体变得疏松，孔隙率增大，从而出现堤顶路面裂缝、堤坡坍塌等现象。另外，海水中的盐分迁移与结晶膨胀，使得土体颗粒之间更易分离，使土体的内聚力和摩擦角降低，进而使堤身的抗剪强度指标大幅降低。在这种情况下，受到波浪爬坡力以及渗透压力的作用，堤身内部产生重新分布，如果某一部位的剪应力超过了该处土体所能承受的最大剪应力，则会发生深层滑移或者表层溜坡的现象。而一些年代久远的海堤所使用的护面材料为浆砌石或者普通混凝土，在经历反复冻融以及盐类腐蚀之后，表面严重风化，降低了对其下部土体的防护效果，加快堤身材料风化以及整体性破坏^[2]。

2.2 堤基渗透破坏与管涌风险

堤基渗透破坏是造成海堤安全隐患的重大隐患。海堤地基一般是由多种不同渗透性的土层相间构成，在堤内外存在水头差的作用下，地下水就会沿这些渗透性较好的土层或者土层之间的结合面产生渗流。

当水力梯度过大时,堤基土体中的细颗粒就会被渗流带走,在下游坡脚或排水设施位置处形成管涌通道。这种破坏形式具有隐蔽性和突然性,在最初只会出现堤后有“牛皮胀”或者湿地的现象,随着管涌通道的联通,堤基内部就形成了贯通的管状空隙,使得堤基失去支撑力。而在双层地基情况下,上部较弱渗透性土层的一部分被穿透产生接触冲刷,下面的透水层会发生流土破坏。渗透破坏一旦发生,如果不进行处理,很快就会使堤身下沉、裂缝甚至倒塌,危害极大。

2.3 防浪护面结构疲劳损伤

防浪护面是海堤抵抗波浪直接冲击的第一道屏障,在长期波浪荷载作用下,护面块体(如扭王字块、四脚空心方块等)承受定期拉压应力以及弯矩,如果应力幅值大于材料疲劳强度,则会在块体内形成细微裂缝并在一定条件下扩大直至发生破坏或者崩解;另一方面,波浪携带泥沙及漂浮物会对护面造成冲刷和撞击从而加速混凝土表面风化剥落;同时,由于护面之间相互咬合产生的摩擦力随波动不断被消耗使得块体发生移动、抬高乃至脱离,从而使护面整体连贯性受到影响。这些疲劳破坏降低了护面对波浪的阻力作用同时也使得堤身内部质料裸露在波浪冲刷中进而引起一连串破坏过程^[3]。

2.4 排水反滤系统淤堵失效

排水反滤系统是保证海堤内侧渗流畅通的重要设施,而其失效能由物理淤堵及生物化学淤堵两种方式造成,在物理方面,随着渗流进入反滤层的细小颗粒,在反滤层进口处积累并逐步阻塞排水路径;另外,海水中所含悬浮颗粒也容易在排水沟渠中沉积;在化学上,海水中的钙、镁离子与土壤中碳酸根离子发生反应产生难溶物质,同时盐分结晶析出也使反滤料孔隙被占据。同时,海水中的微生物在湿润条件下生长繁殖并且分泌黏液形成生物膜,从而减少过水面积。一旦排水受阻,则会使堤体内超孔隙水压力不能及时释放而导致有效应力减少使堤坝坡度不稳定,如果长时间排水不良则会导致堤后地区出现沼泽化现象从而加剧对护坡的侵蚀以及损坏,形成恶性循环^[4]。

3 海堤工程病害的除险设计策略

3.1 修复加固堤身材料,提升整体稳定性

对于堤身填土疏松、强度降低以及护坡结构破坏造成的稳定性不足应采用物理置换结合力学补强的方法进行处理。

施工中首先对堤身破损处进行准确破除,挖出被海水浸泡、冲刷的不良填料以及风化的石块等杂物,然后分层回填中粗砂并逐层浇水夯实重建堤身。而对于堤脚护坡部分,则要将原有的断裂浆砌石或者破损混凝土盖板拆除,在其上铺设经过防腐处理的双层塑料土工格栅作为加筋层,格栅网格大小以100mm×100mm为宜,抗拉强度大于等于80kN/m,用U型钢钉固定在整修过的堤面上,以限制土壤侧向位移从而极大地增

强土壤自身摩擦角以及粘结力。

在此基础上,在土工格栅上面浇筑不低于150mm厚C30纤维混凝土护面块石,混凝土里面加入聚丙烯腈纤维提高其抗裂性,并放置直径为50mm的PVC排水管,间距为2m呈梅花形分布以防夹层渗水。对于堤顶路面产生的纵向裂缝,应用高压灌浆法对其进行修补,使用稠度较低、流动性较好的改性环氧灌浆料,在钻成直径大于等于14mm的钻孔内灌注到裂缝内部,使它能够充分渗透到裂缝四周疏松土中,从而使堤防整体性及承重力得到改善。

同时,在堤防背水坡脚处设置压载平台,平台宽度根据抗滑稳定计算确定一般不少于3m,用块石堆填并铺设反滤土工布以减小堤基应力同时增大抗滑力矩。这样利用这些方法进行物理置换、加筋锚固以及注浆加固相结合可以有效地改善堤身断面形状提高海堤在高潮位时的抗滑稳定性,从而杜绝由于堤身材料老化造成沉陷甚至是滑动现象的发生。

3.2 构筑堤基防渗体系,阻断渗透破坏路

为了防止由于堤基透水层造成的管涌、流土问题可以设置刚柔并济的垂直截渗设施来增加渗径同时减少水力梯度。

工程实践中,宜首选多头小直径深层搅拌桩截渗墙法,在堤轴线上沿堤前滩地或者堤顶布置一条封闭式防渗墙。施工过程中,用专门深层搅拌桩机将水泥浆从地面打入地下,由叶片旋转切割搅拌,使水泥与土颗粒强行搅拌黏结,形成封闭式水泥土防渗墙。墙厚一般为550mm~800mm,应穿过主要透水层并伸入相对较不透水层至少1m以上,其透水率不大于 1×10^{-7} cm/s,起到良好的隔水作用。

对于有较厚砂砾石透水地基地段,可采用高压摆喷灌浆加固(流程如图1)。即在预定位置钻一个孔到设计深度,然后用高压泵将浆液以超过30MPa压力喷出高速射流冲切土体的同时提升喷嘴并旋转,在土体内便形成一个直径大于等于1.2m圆柱体状固结物,这些固结物相互搭接而成一层具有良好防渗能力的板墙,对地下水流速较快地层非常有效,在该墙顶部与堤身连接处需现浇钢筋混凝土盖板封口以防渗流沿墙顶绕渗。

完成主体防渗墙后,在堤后需要布置盖重体以及贴坡排水。盖重体用不透水土料进行填筑,其厚度不应小于1.5m,在渗流出口位置加大盖重防止出现流土现象,而贴坡排水是由粗砂、碎石和干砌石层状混合物构成,在堤基上直接铺放使剩余水流能顺利流出而不带走土颗粒。

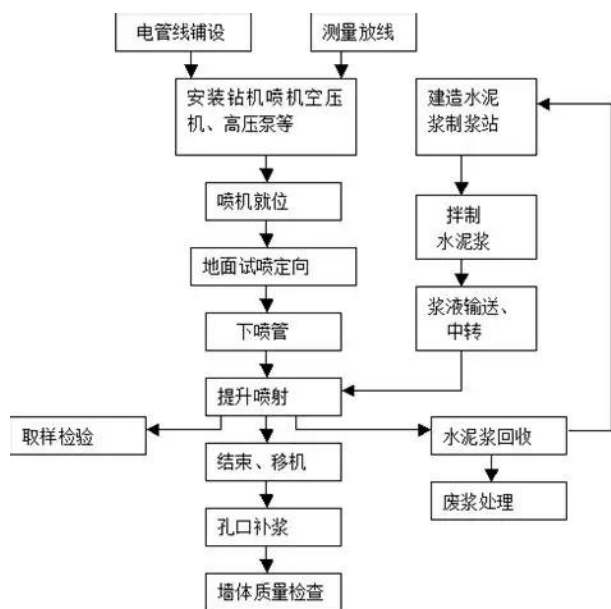


图1 高压摆喷灌浆加固流程

3.3 升级防浪护面构造，增强抗冲击耐久

由于波浪长时间反复冲刷引起护面结构疲劳破坏，需从改善块体自身及加强其之间联结方式提高整个防波堤使用寿命。

首先，对现有的防浪护面块体全部进行更新改造，摒弃传统的浆砌石以及容易破损的普通混凝土块，使用高强度等级的扭王字块或者四脚锥块。新的块体应使用不低于 C40 的高性能耐腐蚀混凝土预制而成，骨料为坚硬耐磨的花岗岩碎石，同时添加适量的硅粉和粉煤灰以改善混凝土内部孔隙结构，增强其抵抗海水侵蚀能力和抵抗冻融循环的能力。每一块的重量需根据当地的重现期波要素确定，在设计波浪力下不会移动，一般而言单个块体的重量不得低于 2 吨。

布置方法方面，不再使用传统的散铺法，而是利用先进的设备进行精确的定位后安装。相邻单元之间应该用预先制作好的镀锌钢连接件或者是高强度尼龙绳连接在一起，在三维空间中构成稳定的网格状结构，以对抗波浪对它的浮托力以及拖曳力。

参考文献：

- [1] 邹恒.海堤工程病害分析与除险设计研究[J].城市道桥与防洪,2025(7):196-200.
- [2] 吴佳捷.钻孔灌注桩海堤路段施工工艺及质量控制研究[J].运输经理世界,2021(19):112-114.
- [3] 杨锦晨,白涛,朱文谨.淤质泥海岸海堤地基沉降特性数值模拟研究[J].陕西水利,2026(4):5-7,14.
- [4] 林昭涣.深圳中英街海堤达标提质工程设计方案剖析[J].水利技术监督,2026(3):308-312.

3.4 重建排水反滤通道，恢复排水减压效果

对于由排水系统淤塞造成孔隙水压力过大情况，需要完全重建排水系统并且合理设置反滤层使其能够发挥排水作用，在施工中先将原有的失效排水沟渠以及反滤层全部拆除，用高压水枪结合机械进行清淤，直到看到新鲜底面。然后再铺设满足级配要求的反滤层，从下到上分别是直径 5~10mm 的碎石层、直径 10~20mm 的碎石层以及直径 20~40mm 的卵石层，每层厚度约 300mm，这样可以构成一个完整连贯的排水结构体，既可以避免土壤颗粒被带出又具有良好的透水性。

排水通道的主体结构上，在堤脚附近设置一条纵向盲沟，盲沟截面为矩形或者梯形，沟底铺设一层透水土工布起到隔离作用，沟内填满干净的瓜米石或碎砖块等材料，同时设置一条内径不小于 200mm 的双壁打孔波纹管作为主排水管。打孔率需大于 2%，并用土工布包裹管身防止细小颗粒进入管内发生堵塞，每根横向排水支管每隔不超过 10m 接入纵向主管，形成一个井字形的排水系统，将堤体内渗水快速排出堤外。

为防止生物淤堵以及化学结晶再次堵塞排水通道，在排水口要安装可拆卸的过滤装置以及冲洗接口，在每间隔 50 米位置设置一个检查井，在井壁上设置高压水射流冲洗孔，在一定时间内对排水管进行清洗操作，另外，在反滤料内加入一定量的沸石粉来吸附其中的金属离子使之不能形成沉淀，这样就能保证良好的排水减压效果及时降低堤身上的超孔隙水压力从而避免堤坡土体发生软化和蠕动。

4 结语

本文从海堤工程常见病害出发，针对性提出采用优质填筑材料维修加固堤身、设置堤基防渗设施、完善防浪护面以及重建排水反滤通道等应急处治方案。这些方法可以有效地防止由于材料老化、渗透破坏、护面破损和排水不良等原因造成的海堤安全隐患问题的发生和发展，从而提高整个海堤结构的安全可靠性和耐久性。未来，相关人员还应继续探索新的建筑材料和技术手段应用于海堤工程中，使海堤工程逐渐实现信息化管理、自动化预警以及生态化修复的目标，促进我国海堤工程管理水平不断提高和完善，更好地服务于沿海经济社会发展大局。