

# 常浒河模袋砼护坡稳定性与耐久性技术研究

蔡宏

常熟市防汛防旱指挥部办公室

DOI:10.12238/hwr.v8i10.5764

**[摘要]** 研究针对常浒河下游模袋砼护坡的稳定性和耐久性问题展开。通过现场调查、室内试验和数值模拟,分析了水流冲刷、船舶撞击等因素对护坡结构的影响。实验结果表明,优化模袋砼配比、改进施工工艺可显著提高护坡抗冲刷能力和抗裂性。基于研究成果,提出了提高模袋砼护坡稳定性和耐久性的技术措施,为类似工程的设计和维修提供了参考。

**[关键词]** 模袋砼护坡; 稳定性; 耐久性; 抗冲刷; 抗裂性

中图分类号: TQ178 文献标识码: A

## Study on the Stability and Durability of Bag-type Concrete Slope Protection on Changxu River

Hong Cai

Office of Flood Control and Drought Relief Command of Changshu City

**[Abstract]** This study aims to investigate the stability and durability of bag-type concrete slope protection on the lower reaches of Changxu River. Through on-site investigation, laboratory tests, and numerical simulation, the effects of water erosion and vessel impact on the slope protection structure were analyzed. The experimental results show that optimizing the concrete mixture ratio and improving the construction process can significantly enhance the slope protection's resistance to erosion and cracking. Based on the research findings, technical measures were proposed to enhance the stability and durability of the bag-type concrete slope protection, providing reference for similar engineering designs and maintenance.

**[Key words]** bag-type concrete slope protection; stability; durability; resistance to erosion; resistance to cracking

### 引言

常浒河作为苏州市级河道,承担着防洪、排涝和航运等重要功能。然而,由于长期运行和外力作用,下游入江口段的模袋砼护坡出现不同程度的损坏,严重影响了河道堤防安全。本研究针对常浒河模袋砼护坡的稳定性和耐久性问题,通过系统的技术研究,旨在找出影响因素,提出改进措施,为提高模袋砼护坡的使用寿命和工程效益提供科学依据。

#### 1 模袋砼护坡现状调查与问题分析

##### 1.1 现场调查方法

现场调查采用多种方法相结合的综合调查策略,以全面准确地评估常浒河模袋砼护坡的现状。调查团队通过步行巡查和船舶巡查两种方式,对整个研究区域进行了全面的目视检查,重点关注护坡表面的裂缝、剥落和变形等明显损伤。为获取更精确的数据,研究人员使用高精度GPS设备记录了破损位置的具体坐标,并利用无人机航拍技术对难以直接到达的区域进行了详细勘察。在重点破损区域,采用超声波检测仪器对护坡内部结构进行无损检测,评估其完整性和潜在隐患。

##### 1.2 护坡破损类型及原因分析

通过系统的现场调查,研究团队识别出了常浒河模袋砼护坡的主要破损类型,并对其成因进行了深入分析。最常见的破损类型包括表面裂缝、局部剥落、底部冲刷和结构变形。表面裂缝主要呈现为网状和线状两种形态,分析表明这与混凝土收缩和温度应力有关,同时也与施工质量密切相关<sup>[1]</sup>。局部剥落多发生在水位变化频繁的区域,主要由于冻融循环和水流冲刷共同作用导致。底部冲刷问题在急流段和转弯处较为严重,这是由于水流速度增加和紊流效应造成的。结构变形则主要出现在软土地基区域,反映了地基沉降和模袋砼强度不足的问题。此外,船舶撞击造成的机械损伤在航道附近较为常见。

#### 2 模袋砼护坡稳定性实验研究

##### 2.1 模型试验设计

模型试验设计旨在模拟常浒河模袋砼护坡的实际工况,评估其在各种条件下的稳定性表现。试验模型按1:10的比例制作,采用相似理论确保模型与实际工程的力学相似性。模型包括三个主要部分:模拟河床、模袋砼护坡结构和水流系统。模拟河床采用可调节坡度的钢结构,覆盖模拟土层;护坡结构按实际工程的材料配比和施工工艺制作,确保与实际护坡的力学特性一

致; 水流系统由水泵、流量计和导流装置组成, 能够精确控制水流速度和流量。试验参数包括水流速度0.5-3m/s)、水位变化±0.5m)和冲刷时间0-72h)。为模拟船舶撞击, 设计了可控制撞击力和频率的机械装置。

## 2.2 水流冲刷试验

水流冲刷试验模拟了常浒河不同水文条件下模袋砼护坡的受力情况。试验在2.1节设计的模型上进行, 分为稳态冲刷和非稳态冲刷两个阶段。稳态冲刷阶段, 设置三种水流速度0.5m/s, 1.5m/s, 3m/s), 每种速度持续24小时, 观察护坡的抗冲刷性能。非稳态冲刷阶段模拟洪水过程, 水流速度从0.5m/s逐渐增加到3m/s, 然后降回初始值, 整个过程持续72小时。试验过程中, 通过安装在模型上的传感器实时监测护坡表面的剪应力变化、冲刷深度的发展以及护坡结构的变形情况。同时, 利用粒子图像测速技术(PIV)分析水流近壁区的流场特性, 揭示水流冲刷机理<sup>[2]</sup>。试验结果显示, 在1.5m/s以上的水流速度下, 护坡底部开始出现明显冲刷, 冲刷深度随时间呈非线性增长。非稳态冲刷试验中, 护坡在水流速度变化过程中表现出不同的响应特征, 为评估护坡在极端水文条件下的稳定性提供了重要依据。

## 2.3 船舶撞击模拟试验

船舶撞击模拟试验旨在评估模袋砼护坡对船舶碰撞的抵抗能力。试验采用pendulum装置模拟船舶撞击, 通过调节摆锤质量和释放高度控制撞击能量。设置三种撞击能级: 低能级5kJ)、中能级15kJ)和高能级30kJ), 分别对应小型、中型和大型船舶的典型撞击能量。每种能级进行10次重复试验, 以评估护坡的累积损伤效应。撞击点选择在水位线附近、中部和顶部三个位置。试验过程中, 使用高速摄像机记录撞击瞬间的变形过程, 同时通过埋设在护坡内的应变片和加速度传感器测量结构的动态响应。试验后, 通过3D扫描技术精确测量护坡的损伤程度, 包括裂缝宽度、深度和分布。结果表明, 低能级撞击主要导致表面局部损伤, 中能级撞击开始出现内部结构裂缝, 高能级撞击则可能造成护坡整体稳定性受损。

## 2.4 稳定性影响因素分析

模袋砼护坡的稳定性受多种因素影响, 通过实验数据分析, 确定了关键影响因素及其重要性。水流速度是影响冲刷深度的主导因素, 当速度超过1.8m/s时, 冲刷深度急剧增加。护坡坡度每增加5°, 其抗冲刷能力平均下降20%。混凝土强度等级从C30提高到C50, 抗冲刷性能提升了35%。船舶撞击试验显示, 水位线附近的撞击造成的损伤最为严重, 损伤面积比顶部撞击大50%。模袋间连接强度每提高1MPa, 整体抗撞击能力提升12%。环境因素中, 冻融循环次数与表面剥落程度呈正相关, 100次循环后, 表面剥落深度平均增加5mm。多因素分析表明, 水文条件、结构设计和材料性能是影响护坡稳定性的三大类因素, 其中水文条件的影响最为显著, 占总影响的45%。

## 3 模袋砼护坡耐久性实验研究

### 3.1 材料配比优化试验

材料配比优化试验采用正交设计法, 探究水泥类型、水胶

比、掺合料和纤维对模袋砼性能的影响。试验设计16组配比, 测试28天抗压强度、抗折强度、抗渗性能和收缩性能。方差分析结果显示, 水胶比对强度和抗渗性能影响最显著, 最佳水胶比为0.38。掺入15%矿渣粉提高了后期强度和抗渗性, 而0.8%聚丙烯纤维有效减少了收缩裂缝<sup>[3]</sup>。通过模糊综合评价法确定最优配比: 抗硫酸盐水泥, 水胶比0.38, 15%矿渣粉, 0.8%聚丙烯纤维。该配比在强度、抗渗性和耐久性方面均表现优异, 为后续研究奠定基础。表1展示了不同对比对关键性能指标的影响, 突出了最优配比的综合优势。

表1 模袋砼对比对性能影响的比较

对比编号	水胶比	掺合料类型及掺量	纤维类型及掺量	28天抗压强度(MPa)	抗折强度(MPa)	抗渗等级	收缩率(×10 <sup>-6</sup> )
1	0.4	粉煤灰20%	钢纤维1.0%	42.5	5.2	P8	450
2	0.38	矿渣粉15%	聚丙烯纤维0.8%	48.3	5.8	P12	380
3	0.35	矿渣粉25%	钢纤维1.5%	51.2	6.1	P10	420
最优对比	0.38	矿渣粉15%	聚丙烯纤维0.8%	49.5	5.9	P12	375

### 3.2 抗冻融循环试验

抗冻融循环试验评估了模袋砼在严酷气候条件下的耐久性。试验按GB/T 50082-2009标准进行, 采用快速冻融法, 循环次数设为0、50、100、200和300次。结果显示, 优化配比的模袋砼在100次循环后质量损失率为2.1%, 相对动弹性模量降低5.3%, 抗压强度损失7.2%, 均优于普通混凝土。300次循环后, 试件表面仅出现轻微剥落, 未见贯穿性裂缝。扫描电镜分析表明, 纤维的添加有效抑制了微裂纹扩展。基于试验数据, 建立了性能衰减模型, 为预测使用寿命提供依据。

### 3.3 抗渗透性能试验

抗渗透性能试验评估了模袋砼护坡抵抗水分侵入的能力。试验采用水压法和氯离子渗透试验, 设置0.3MPa至1.5MPa的压力等级。结果显示, 优化配比的模袋砼在1.2MPa水压下平均渗透深度为16.5mm, 渗透系数为 $1.2 \times 10^{-12}$ m/s, 达到P12级抗渗等级。氯离子渗透电量为850库仑, 属“很低”渗透性级别。压汞法分析表明, 优化配比显著减少了连通孔隙率。核磁共振技术研究发现, 纤维加入改变了孔隙结构, 延长水分扩散路径。

### 3.4 耐久性影响因素分析

模袋砼护坡的耐久性受多种因素影响, 通过综合分析材料配比优化、抗冻融循环和抗渗透性能试验结果, 识别出关键影响因素。研究发现, 水胶比、掺合料类型及掺量、纤维类型及掺量是影响耐久性的主要材料因素。环境因素中, 冻融循环次数和氯离子侵蚀程度对耐久性影响显著。通过多元回归分析, 建立了耐久性指数与各因素的关系模型。结果表明, 降低水胶比、增加适量矿渣粉和聚丙烯纤维可显著提高耐久性。在环境作用下, 冻融循环每增加100次, 耐久性指数平均降低8.5%; 氯离子渗透电量

每增加500库仑, 耐久性指数降低约6.2%。基于此, 提出了提高模袋砼护坡耐久性的优化策略: 采用低水胶比(0.35-0.40), 掺入15-20%矿渣粉, 添加0.8-1.0%聚丙烯纤维, 同时加强防冻融和抗氯离子渗透措施。

#### 4 模袋砼护坡改进措施

##### 4.1 材料配比优化建议

模袋砼材料配比优化是提高护坡稳定性和耐久性的关键。基于前期研究结果, 推荐采用硅酸盐水泥或抗硫酸盐水泥, 水胶比严格控制在0.35-0.38范围内, 以确保足够的强度和抗渗性。掺合料方面, 15-20%的矿渣粉替代部分水泥, 不仅有利于提高后期强度, 还能显著改善抗渗性和抗硫酸盐侵蚀能力。纤维选用聚丙烯纤维, 掺量为0.8-1.0%, 有效减少塑性收缩裂缝, 提高抗冲击性能<sup>[4]</sup>。同时, 添加5-8%的粉煤灰改善工作性, 减少水化热, 降低碱骨料反应风险。为提高抗冻融性能, 引入3-5%的引气剂, 确保气泡间距系数不超过200  $\mu\text{m}$ 。砂石料选用连续级配, 最大粒径控制在16mm以内, 以确保填充密实和泵送性能。此外, 考虑到常熟地区的气候特点, 建议在混凝土中添加0.8-1.2%的膨胀剂, 以补偿干缩引起的体积变化。

##### 4.2 施工工艺改进方案

模袋砼护坡施工工艺改进应着重提高精细化和标准化水平。混凝土拌制过程中, 采用强制式双卧轴搅拌机, 搅拌时间不少于90秒, 严格控制各材料计量误差在 $\pm 1\%$ 以内。为确保混凝土均匀性, 采用分层加料法, 并在搅拌过程中进行实时性能监测。浇筑时使用高频气动振动器, 振捣时间控制在25-35秒, 确保混凝土充分密实。模袋填充采用压力注浆法, 控制注浆压力在0.2-0.3MPa, 避免模袋变形过大<sup>[5]</sup>。引入激光定位系统辅助模袋安装, 保证相邻模袋搭接长度不少于25cm, 并采用特制的锁扣装置增强连接强度。对于大面积护坡, 采用分段施工法, 每段长度控制在25-30m, 并在段间设置柔性伸缩缝。在模袋连接处设置宽度不小于15cm的柔性防渗带, 提高整体防渗性能。施工过程中, 利用三维激光扫描技术实时监测模袋变形, 一旦超过设计值(通常为填充高度的2%)需要及时调整。同时为应对恶劣天气, 要求配备大型移动式遮阳棚和保温设备, 确保施工质量不受外界环境影响。

##### 4.3 养护及维护策略

科学的养护和维护策略对确保模袋砼护坡的长期性能至关

重要。初期养护阶段, 采用覆盖薄膜喷淋养护结合雾化喷淋系统, 持续时间不少于14天, 保持表面持续湿润, 并控制养护温度在15-25 $^{\circ}\text{C}$ 范围内。在前3个月内, 每周进行一次全面巡查, 重点检查模袋间连接处和表面裂缝情况, 并使用超声波检测仪评估内部密实度。定期(每季度)进行抗压强度的非破损检测, 如回弹法和超声波法, 评估强度发展情况。对于出现的细小裂缝(宽度 $< 0.1\text{mm}$ ), 及时采用高性能环氧树脂进行灌注修补; 对于较大裂缝(宽度 $> 0.1\text{mm}$ ), 使用聚合物改性水泥砂浆修补并覆盖防裂纤维网。每年汛期前后进行全面检查, 评估冲刷和渗透情况, 必要时进行局部加固或防冲刷处理。引入基于物联网的智能监测系统, 实时监测护坡变形、内部应力状态和周围水文条件, 设置预警阈值。对于服役5年以上的护坡, 每2年进行一次防渗性能测试和抗冻融性能评估。根据监测数据, 制定个性化的维护计划, 包括定期的表面防护层更新和模袋连接处的加固。

#### 5 结语

研究通过系统的实验和分析, 深入探讨了常浒河模袋砼护坡的稳定性和耐久性问题。研究成果表明, 优化模袋砼配比、改进施工工艺和加强日常维护是提高护坡性能的关键。建议在未来工程实践中, 采用高性能纤维增强混凝土, 优化模袋设计, 并结合智能监测技术, 实现护坡全生命周期管理。研究为提高模袋砼护坡工程质量和延长使用寿命提供了技术支撑, 对于类似水利工程具有重要的参考价值。

#### [参考文献]

- [1]王欣.土工模袋砼在河道护岸中的运用[J].城市建设理论(研究电子版),2018,(31):179.
- [2]易光波.模袋砼在引江济汉工程渠道衬砌板修复的应用[J].科技创新与应用,2017,30:152-153.
- [3]刘宝.模袋砼和生态砼护坡在航道改造工程中的应用[J].科学家,2017,5(14):57-58.
- [4]林柏贤.模袋砼在软基渠堤护坡的技术应用[J].江西建材,2017,(07):122-123.
- [5]魏光辉,马亮.模袋混凝土护坡在博斯腾湖大、小湖隔堤中的应用[J].水电站设计,2010,26(03):81-84.

#### 作者简介:

蔡宏(1972-),男,汉族,江苏常熟人,本科,工程师,研究方向:水利工程建设与管理,防汛防旱工作。