

Study on Stability and Durability of Rock Cage Structure in Riverbank Protection Engineering

Yiming Li Si Li

Heihe Longyi Engineering Quality Inspection Co., Ltd., Heihe, Heilongjiang, 164300, China

Abstract

With the increasing demand for riverbank protection projects, gabion revetment structures have been widely applied in hydraulic engineering due to their superior stability and durability. Gabion revetment structures exhibit strong adaptability, effectively resisting river erosion and wave action to ensure the safety of river embankments. However, over time, the stability and durability of gabion revetments face various challenges, such as material aging and environmental changes, which may lead to functional degradation. Therefore, this paper systematically analyzes the design, material selection, and construction techniques of gabion revetment structures, exploring their stability and durability in riverbank protection projects. Through the study of relevant engineering cases, key factors affecting the performance of gabion revetment structures are analyzed, and optimized design and maintenance measures are proposed to provide a theoretical basis for the design and construction of future riverbank protection projects.

Keywords

Rock cage bank protection structure; stability; durability; river bank protection; hydraulic engineering

石笼护岸结构在河道护岸工程中的稳定性与耐久性研究

李一鸣 李思

黑河市隆谊工程质量检测有限公司, 中国·黑龙江 黑河 164300

摘要

随着河道护岸工程需求的不断增长, 石笼护岸结构因其优越的稳定性和耐久性, 在水利工程中得到了广泛应用。石笼护岸结构具有较强的适应性, 能有效应对河流的冲刷与波浪作用, 保障河道堤防的安全。然而, 随着时间的推移, 石笼护岸的稳定性和耐久性面临多种挑战, 如材料的老化、环境的变化等因素可能导致护岸结构的功能下降。因此, 本文从石笼护岸结构的设计、材料选用、施工技术等方面进行系统分析, 探讨其在河道护岸工程中的稳定性与耐久性问题。通过对相关工程案例的研究, 分析了影响石笼护岸结构性能的关键因素, 并提出了优化设计与维护措施, 以为未来河道护岸工程的设计和施工提供理论依据。

关键词

石笼护岸结构; 稳定性; 耐久性; 河道护岸; 水利工程

1 引言

随着全球气候变化和水资源管理的需求日益增加, 河道护岸工程在防洪、防灾以及水环境保护中扮演着越来越重要的角色。石笼护岸作为一种经济高效的结构形式, 因其施工简便、成本低廉以及较好的生态适应性, 已广泛应用于河道护岸工程中。然而, 随着使用年限的增加, 石笼护岸结构的稳定性与耐久性逐渐成为工程中的一项重要问题。由于石笼护岸结构在长期使用过程中可能受到水流、波浪、泥沙等自然因素的影响, 其稳定性与耐久性可能面临严峻考验。研究石笼护岸结构的稳定性与耐久性, 不仅能够帮助优化设计与施工方案, 还能为提高河道护岸工程的整体安全性提供科

学依据。

2 石笼护岸结构概述

2.1 石笼护岸结构的定义与特点

石笼护岸结构是一种由钢丝网箱、石块等材料构成的柔性护岸结构, 广泛应用于河道、湖泊及海岸线的防护工程中。该结构通过将石块装填在钢丝网箱内形成一个网状堆砌体, 具备良好的透水性与柔性, 能够有效缓解水流带来的冲击力, 减少河岸的侵蚀。其设计灵活, 可以根据地形和水流情况进行调整, 具有较强的适应性。石笼护岸结构能与周围自然环境更好地融合, 减少对生态环境的破坏。同时, 该结构施工简便、成本较低, 且维护方便, 长期使用中表现出较好的耐久性。

2.2 石笼护岸结构的应用背景与发展历程

石笼护岸结构起源于欧洲, 最早被用于防护水利设施

【作者简介】李一鸣(1992-), 男, 中国黑龙江黑河人, 本科, 工程师, 从事水利水电工程质量检测研究。

与沿海地区的防潮、防浪工程。随着水利建设和河道治理需求的增长,石笼护岸逐步得到了全球范围内的应用。特别是在20世纪末,石笼护岸技术因其较高的性价比和良好的生态适应性,逐渐成为河道护岸工程中最常用的结构形式之一。在我国,随着河道整治和水利防护工程的不断推进,石笼护岸结构广泛应用于多条大江大河及城市防洪堤坝建设中。尤其在环境保护日益受到重视的今天,石笼护岸结构的生态功能被更多地关注,如提供栖息地和改善水质等功能得到了广泛的应用^[1]。

2.3 石笼护岸结构的主要构造与材质

石笼护岸结构主要由钢丝网箱、石块及填充材料构成。钢丝网箱采用高强度镀锌钢丝或不锈钢丝编织而成,具有较强的抗拉强度和耐腐蚀性,能够有效抵抗水流和外界物理冲击。石块是填充在网箱中的主要材料,通常选用坚硬、耐磨的岩石,如花岗岩、卵石等,具有较好的耐久性和稳定性。石块的大小和形状根据具体工程要求进行选择,一般保持较大的尺寸以保证其在水流作用下不易位移。网箱之间通过绑扎或连接的方式形成一个整体结构,这种结构具有较好的柔性,可以适应水流的变化,减轻水流对护岸的冲击。

3 石笼护岸结构的稳定性分析

3.1 石笼护岸结构的受力分析

石笼护岸结构在水流作用下的受力主要由水流的冲击力、波浪作用力、以及沉积物的冲刷力共同作用形成。根据相关研究,石笼结构在水流速度为1.5m/s时,受力最大,可以承受的最大压力可达20kN/m²。在水流的作用下,石笼结构首先会经历石块之间的摩擦力作用,其次是钢丝网箱的拉伸力。当水流压力超过石块间的摩擦力时,石块会发生轻微位移,但由于石块的自由堆积和结构的弹性,石笼结构能够通过自我调整来分散水流的压力。对于典型的石笼护岸结构,计算结果表明,稳定性主要取决于石块的排布方式及钢丝网箱的强度。在一般的工程中,设计安全系数通常设为1.5,以确保结构在极端条件下的稳定性。通过有限元分析,可以进一步优化石笼结构的设计,提高其在不同水文条件下的受力分布,确保长期稳定运行。

3.2 影响稳定性的主要因素

石笼护岸结构的稳定性受多个因素的影响,其中水流速度、波浪高度、土质类型和结构本身的设计是关键因素。在水流速度较大的情况下,水流的冲击力和切变力较强,容易引起石块位移,进而影响整个护岸结构的稳定性。研究显示,当水流速度达到2m/s时,石笼结构的稳定性会显著下降,特别是在河床为松软土质的区域。此外,波浪的作用也是影响石笼稳定性的一个重要因素,特别是在沿海地区,强烈的波浪作用可能导致石块的重新分布,进而影响护岸效果。土质的坚硬程度也是一个不可忽视的因素,硬质土壤能提供更好的基础支持,而松软土壤则可能导致石笼结构的沉陷。通

过优化设计和选材,能够有效减小这些因素对稳定性的负面影响,从而提高石笼护岸的稳定性。

3.3 稳定性评估方法与标准

石笼护岸结构的稳定性评估方法主要包括理论计算法、实验模拟法和数值模拟法。理论计算法通过考虑水流压力、结构强度等因素,运用力学公式进行评估,通常采用极限平衡法和安全系数法进行分析。在实际应用中,常根据设计安全系数要求,对护岸结构进行计算。实验模拟法通过物理模型试验,模拟水流与波浪的作用,研究结构在不同条件下的反应。这种方法能够直接观测结构的破坏模式,并为优化设计提供参考。数值模拟法则通过使用计算流体力学(CFD)软件,结合有限元分析(FEA),对石笼护岸结构进行模拟计算,分析其在复杂水文条件下的稳定性。当前,国内外相关标准如《河道护岸工程设计规范》和《水利工程抗震设计规范》对石笼护岸的稳定性评估提出了明确的要求,指导工程设计和施工。在实际工程中,通常会综合使用多种评估方法,以确保结构的长期稳定性^[2]。

4 石笼护岸结构的耐久性分析

4.1 耐久性的定义与影响因素

耐久性是指石笼护岸结构在自然环境中,能够持续维持其功能和稳定性的能力,主要受到水流、气候变化、土壤条件等因素的影响。水流速度、波浪冲击、腐蚀性环境以及水温变化是影响耐久性的关键因素。在高流速水域,水流的冲刷作用会加速石笼结构的磨损,长期作用下,石块可能会发生位移或破损,进而影响护岸结构的稳定性。气候变化,尤其是极端天气条件,如频繁的洪水或干旱,也会对石笼护岸的耐久性造成压力。腐蚀性环境中,钢丝网箱的金属材料可能发生腐蚀,降低其结构强度。此外,石笼护岸的耐久性还受施工质量、材料选择和设计方式等因素的影响。高质量的石材、耐腐蚀的钢丝网和合理的施工工艺可以显著提高石笼护岸结构的使用寿命。对这些影响因素的全面考虑,有助于提高结构的耐久性。

4.2 石笼护岸结构的耐久性测试方法

石笼护岸结构的耐久性测试方法包括现场监测、实验室试验和数值模拟等方式。现场监测主要通过定期检查石笼结构的变化,如石块的位移、网箱的变形、腐蚀的程度等。通过设置监测点,实时监控水流速度、波浪高度等环境参数,结合结构物的变形数据,评估其耐久性。实验室试验则主要通过模拟不同水文气候条件,测试石笼结构材料的老化程度及耐腐蚀性。常见的实验方法包括石块的抗压试验、钢丝网的抗拉强度试验以及材料的耐磨试验。数值模拟则通过计算流体力学和有限元分析,模拟石笼结构在不同环境条件下的受力和变形情况,从而评估其耐久性。在实际工程中,通常会结合上述测试方法,全面评估石笼护岸的耐久性,确保结构在长期使用中的稳定性。

4.3 提高耐久性的技术与措施

提高石笼护岸结构耐久性的技术与措施主要从优化材料、改进设计和完善施工工艺等方面着手。首先,选用更高强度和更耐腐蚀的材料,如采用镀锌钢丝或不锈钢网箱代替普通钢丝,可以有效延长结构的使用寿命。此外,采用特殊处理的石材,如表面涂覆防腐涂料或使用抗磨损的岩石,可以增加石块的耐久性。其次,改进设计,例如合理增加石笼网的密度和石块的尺寸,确保石块不易滑移,可以提高结构的稳定性。施工过程中,应严格控制石笼的组装质量,确保石块之间的紧密排列,减少空隙,以防止水流对结构的冲刷。定期的维护和检测也是保障耐久性的重要措施,对已经出现损坏的部分及时进行修复,可以大大提高石笼护岸的使用年限。通过综合应用这些技术与措施,能够显著提高石笼护岸结构的耐久性^[3]。

5 石笼护岸结构在河道护岸中的应用效果

5.1 工程案例

以南京市某河道石笼护岸工程为例,该项目于2018年启动,旨在改善南京城区沿江河段的防洪能力。项目采用石笼护岸结构,石笼总长度达3.2公里,使用了近8万立方米的石块和2千吨镀锌钢丝。工程完工后,通过对比水流速度和护岸结构的变化,发现石笼护岸的表现显著优于传统混凝土结构。在河道水流速度为1.5 m/s的情况下,石笼护岸结构未出现任何明显的位移或损坏。而传统的混凝土护岸在相同水流条件下出现了微小裂缝,表现出较差的耐久性。通过该案例分析,可以看出石笼护岸结构在长期水流冲刷下的稳定性较强,同时也具备较好的环境适应性,图1为该河道的高标准施工案例现场实拍图。



图1 该河道的高标准施工案例现场实拍图

5.2 石笼护岸的优缺点比较

石笼护岸结构在河道工程中具有许多优点,如较低的

施工成本、快速的建设周期以及良好的生态适应性。相比传统的混凝土结构,石笼护岸能更好地与自然环境融合,促进水生生物栖息地的形成。然而,石笼护岸也有其局限性,特别是在极端水文条件下,如洪水或强浪冲击时,可能导致石块的移动或网箱变形。此外,石笼结构需要定期检查和维修,若维护不到位,可能会影响其长期稳定性。根据多项工程对比分析,在一般水流条件下,石笼护岸的耐久性优于传统结构,但在高水流冲击或强风浪环境中,石笼结构的稳定性表现较差,需要改进设计与施工技术。

5.3 石笼护岸在不同水文条件下的表现

石笼护岸结构的表现与水文条件密切相关。在一般水流条件下,石笼护岸能够有效抵抗水流的冲刷,保持较好的稳定性和耐久性。然而,在极端水文条件下,如强降雨引发的洪水或强烈波浪的冲击,石笼护岸可能会出现石块位移或网箱变形。以2019年重庆市某河段的石笼护岸为例,在强降雨后,水流速度一度达到3.2m/s,虽然石笼护岸仍保持整体稳定,但局部区域出现了石块松动的现象。经评估,该区域的石笼护岸设计未考虑足够的防洪能力,导致局部失效。通过增加网箱密度和改善石块的搭接方式,可以有效提高石笼护岸在强水文条件下的表现。综上所述,石笼护岸结构在正常水文条件下表现良好,但在极端水文条件下仍需优化设计和加强维护^[4]。

6 结语

石笼护岸结构具有良好的适应性和经济性,能够有效抵御水流、波浪等自然因素的冲刷,保证河道护岸的安全。然而,随着使用年限的增加,结构的稳定性和耐久性仍然面临多种挑战,尤其是在高流速水域和极端水文条件下,石笼结构可能会出现石块位移或网箱变形等问题。为确保石笼护岸的长期稳定运行,需要在设计、施工和维护过程中加强对水流、波浪等因素的考虑,选用优质材料,并加强定期检查与维护。通过不断优化设计与施工技术,石笼护岸结构将能够更好地应对复杂的水文环境,为河道护岸工程提供更加可靠和可持续的解决方案。

参考文献

- [1] 吉燕强.河道水生态治理工程格宾网石笼施工探析[J].当代农机,2025,(09):81-82.
- [2] 蒋文健,曾敏.水库除险加固工程护岸结构型式比选[J].水利技术监督,2025,(03):265-269.
- [3] 刘英民.清河防洪工程格宾石笼护岸结构的应用分析[J].黑龙江水利科技,2023,51(02):138-141.
- [4] 陈畅.生态联合挡墙石笼护岸技术在中小河流治理中的应用[J].黑龙江水利科技,2022,50(11):135-138.