

堤防渗流稳定计算的探讨及应用研究

刘小康

摘要: 本论文探讨了堤防渗流稳定计算的相关概念、影响因素以及常用的计算方法。堤防渗流是指水流通过堤防体的现象,其稳定性对于保护水利工程和防止水患具有重要意义。在论文中,本文详细介绍了土壤渗透性、水头差、渗流路径、堤防材料和结构、外部水位和水流压力,以及堤防维护和管理等影响因素对堤防渗流稳定性的影响。接着介绍了常用的堤防渗流稳定计算方法,包括简化的毕肖普法、有限元法、特征线法和数值模拟方法。最后通过对研究内容的总结,得出了一些结论和展望。本研究对于提高堤防渗流稳定性的设计和管理具有一定的理论和实际意义。

关键词: 堤防渗流稳定性; 计算方法; 渗透性

Discussion and Application of Seepage Stability Calculation of Levee

Xiaokang Liu

ID No. 411527XXXXXXXXX5012

Abstract: This paper explores the relevant concepts, influencing factors, and commonly used calculation methods for levee seepage stability assessment. Levee seepage refers to the phenomenon of water flowing through a levee structure, and its stability is of paramount importance in safeguarding hydraulic engineering projects and preventing floods. In this paper, we provide a detailed discussion of the factors influencing levee seepage stability, including soil permeability, hydraulic head difference, seepage paths, levee materials and structures, external water levels, hydraulic pressures, as well as levee maintenance and management. Subsequently, we introduce commonly used methods for assessing levee seepage stability, including simplified Darcy's law, finite element analysis, characteristic line methods, and numerical simulation approaches. Finally, we conclude the research findings and offer some perspectives. This study holds both theoretical and practical significance in enhancing the design and management of levee seepage stability.

Keywords: Seepage Stability of Levee; Calculation Method; Permeability

堤防工程作为水利工程的重要组成部分,对于保护河道和周边地区免受洪水侵袭具有重要意义^[1]。然而,长期以来,堤防渗流问题一直是堤防工程稳定性的主要挑战之一。堤防渗流会导致堤防体土壤饱和和液化,甚至引发堤防失稳。因此,对于堤防渗流稳定性的计算研究和应用具有重要的实践价值。

一、堤防渗流的概念

堤防渗流是指水流通过堤防体或堤基的现象。在堤防工程中,渗流是指水从高水位一侧通过堤防体渗透至低水位一侧的过程。堤防渗流是一种常见的现象,但如

果不加以控制和管理,会对堤防的稳定性产生不利影响。首先,堤防渗流是由水压差驱动的。水流从高水位一侧向低水位一侧流动,水的压力会推动水分子通过堤防体的孔隙空隙或裂缝,形成渗流^[2]。其次,堤防渗流是一种多孔介质流动过程。堤防体通常由土壤或其他多孔介质构成,水流通过介质中的孔隙空隙或裂缝进行渗透和传导。渗流路径和渗流速度受到堤防材料的渗透性、孔隙结构和水头差等因素的影响。另外,堤防渗流会导致水分和固体颗粒的运移。水流通过堤防体时,会携带溶解的物质、悬浮颗粒和颗粒物等,对堤防体的稳定性和土壤质量产生影响。渗流过程中的水分和固体颗粒的运移可能导致土体的侵蚀和冲刷,进而引起堤防的沉降和破坏。最后,堤防渗流的控制和管理对于堤防工程的

作者简介: 刘小康,男,汉,本科,中级工程师,研究方向:水利专业、规划设计与技术咨询。

安全和稳定性至关重要。合理的渗流控制措施可以降低渗流对堤防体的侵蚀和破坏风险,保障堤防的稳定性。常用的措施包括防渗墙、排水系统、护坡等,通过有效地控制渗流,减少水分和颗粒物质的运移,保持堤防的完整性和稳定性。

二、堤防渗流的影响因素

1. 土壤渗透性

土壤渗透性是指土壤中液体(通常是水)通过渗流的能力。它受到多个因素的影响,包括土壤颗粒的组成、结构、孔隙度、孔隙连通性等。土壤渗透性越高,水分在土壤中的传导能力越强,渗流通过堤防体的风险也就越大。不同类型的土壤具有不同的渗透性,例如砂质土壤通常具有较高的渗透性,而粘土质土壤渗透性较低。在堤防设计和施工过程中,需要对土壤渗透性进行准确评估,并根据实际情况采取相应的处理措施,如选择适当的防渗材料、进行渗透性改良等,以确保堤防的渗流稳定性。

2. 水头差

水头差是指水流上下两侧的水位差,也可以理解为水的水压差。水头差的大小直接影响着水流通过堤防体的压力和速度。当水头差较大时,水流的压力和速度会增大,从而增加了渗流对堤防的冲刷和破坏风险^[3]。水头差通常由外部水位变化引起,如河流水位的上升或降低、降雨引起的洪水等。在堤防设计中,需要合理考虑水头差的大小,并采取相应的防渗措施,如设置适当的防渗层、加强堤防体的稳定性等,以减少渗流对堤防的不利影响。

3. 渗流路径

渗流路径是指水流在堤防体内部的传输路径,它受到土壤结构和堤防形状等因素的影响。渗流路径的长度和渗流路径中的阻力会直接影响渗流的速度和量。较长的渗流路径或存在较大的渗流阻力会减小渗流的风险,而较短的渗流路径或存在较小的渗流阻力会增加渗流的风险。因此,在堤防设计和管理中,需要合理设计堤防的形状和渗流路径,以减小渗流的影响和提高堤防的稳定性。

4. 堤防材料和结构

堤防的材料和结构对于渗流稳定性也具有重要影响,不同的材料具有不同的渗透性和强度特性,而不同的结构形式会影响水流的通过方式和路径。堤防材料和结构的选择应考虑其渗透性、强度、抗冲刷性能等因素。如果选择不合适的材料或结构,可能导致渗流加剧、堤防破坏或不稳定。

5. 外部水位和水流压力

外部水位的变化和水流的压力会对堤防体施加压力和冲击力,进而影响渗流的发生和传输。当外部水位升高或水流速度增大时,堤防承受的水压力和冲击力也会

增加,增加了渗流发生和堤防稳定性的风险。因此,在堤防设计和管理中,需要合理考虑外部水位和水流压力的变化,并采取相应的防护措施。

6. 堤防维护和管理

堤防的维护和管理对于渗流的控制和稳定性至关重要,适时的维护和管理可以发现和修复渗流引发的问题,确保堤防的完整性和稳定性。堤防的维护工作包括巡查、清理、修补、排水等,旨在保持堤防的正常功能和完好性。同时,定期的监测和评估可以及早发现渗流问题的迹象,采取相应的措施进行修复和加固,确保堤防的安全性和可靠性。维护和管理的不善可能导致渗流问题逐渐加剧,最终影响堤防的稳定性和安全性。

三、常用的堤防渗流稳定计算方法

1. 简化的毕肖普法(Simplified Bishop method)

简化的毕肖普法是一种常用的堤防渗流稳定计算方法,用于评估堤防在不同工况下的稳定性。该方法基于平衡条件和材料的力学性质,考虑土体重力、水力、抗滑和抗倾覆力等因素,通过简化计算步骤和假设,进行稳定性分析。在进行简化的毕肖普法计算时,首先将堤防切割成多个切坡面,每个切坡面被假设为刚性平面,忽略土体内部的变形和渗流。然后应用力学平衡条件,考虑每个切坡面上的各个力的平衡情况。平衡条件包括水平力平衡和垂直力平衡,即水平方向合力和垂直方向合力为零^[4]。在计算力的大小和方向时,考虑土体的重力、水力、抗滑力和抗倾覆力等因素。这些力的计算是基于土体的几何形状、材料特性和工况条件。其中,水力是指由水压力引起的水平和垂直方向的力,抗滑力是指土体内部的抗滑阻力,抗倾覆力是指土体上部和下部之间的倾覆阻力。计算得到各个切坡面上的抗滑力和倾覆力后,通过选择适当的稳定性判据(如摩尔-库仑判据、弗里克斯判据等),比较这两个力的大小,来判断切坡面的稳定性。如果抗滑力大于倾覆力,切坡面就是稳定的。然而,简化的毕肖普法虽然具有计算简便、可操作性强的特点,但也存在一定的局限性。由于忽略了土体内部的变形和渗流,以及其他复杂因素的影响,计算结果可能存在一定的偏差。因此,在实际工程中,需要综合考虑其他因素,并进行详细的稳定性分析和验证,以确保堤防的稳定和安全性。

2. 有限元法(Finite Element Method)

有限元法(Finite Element Method,简称FEM)是一种广泛应用于工程和科学领域的数值计算方法,也常用于堤防渗流稳定计算。该方法通过将复杂的物体或结构划分为许多小的单元(有限元),利用局部方程对每个有限元进行数值求解,最后组合得到整体的数值解。在堤防渗流稳定计算中,有限元法可以同时考虑渗流和稳定

性的问题,使计算更加准确和全面。在有限元法中,首先将堤防的几何形状离散化成有限个小单元,例如三角形或四边形等。每个小单元内部的渗流和稳定性问题可以由局部方程描述,这些方程通常是非线性的,包括渗流方程、弹性力学方程和稳定性判据方程等。然后,通过对每个小单元的方程进行离散化和数值求解,得到各个小单元的渗流量、应力和变形等结果。为了得到整体的稳定性结果,有限元法还需要将所有小单元的解进行组合和耦合。这涉及到在小单元之间建立连接关系,形成整个堤防体系的数值模型^[5]。通过求解整个模型,可以得到堤防在不同工况下的渗流量、应力分布和稳定性评估结果。有限元法在堤防渗流稳定计算中的优点在于可以灵活地处理复杂的几何形状和边界条件,能够全面考虑渗流和稳定性问题,并可以通过细化网格来提高计算精度。同时,该方法还可以方便地进行不同工况和参数的敏感性分析,以优化堤防设计和改进工程方案。然而,有限元法也存在一些挑战,包括网格生成的复杂性、计算成本较高以及对计算机性能要求较高等。因此,在使用有限元法进行堤防渗流稳定计算时,需要仔细选择合适的网格划分和求解策略,以确保计算结果的准确性和可靠性。

3. 特征线法 (Characteristic Line Method)

特征线法 (Characteristic Line Method) 是一种数值计算方法,常用于解决堤防渗流和稳定性问题。该方法结合了特征线的概念和有限差分法,能够较好地处理渗流过程中的非线性和非稳态特性。特征线法在堤防工程中具有广泛的应用,尤其适用于含有复杂边界条件和不规则几何形状的问题。特征线法的基本思想是将偏微分方程(如渗流方程)转化为一组常微分方程,然后通过积分求解这些常微分方程,得到渗流的时间演化和空间分布。在堤防渗流稳定计算中,特征线法可以同时考虑渗流过程和边坡稳定性,因此对于复杂的渗流稳定问题有较好的适用性。在特征线法中,首先将计算区域离散化为网格,然后根据渗流方程的特征线方向,从网格节点出发沿着特征线进行时间推进。这样,在每个网格单元内,通过求解常微分方程来计算渗流的时间演化。特征线法具有良好的稳定性和精度,在处理非线性和非稳态问题时更加准确。特征线法在堤防渗流稳定计算中的优点在于可以高效地求解复杂边界条件下的渗流问题,并且能够较好地捕捉渗流的动态变化过程。此外,特征线法对于处理流体的激波等尖锐变化现象也表现得较为优秀。然而,特征线法也存在一些限制,例如对于高度非线性问题可能需要较小的时间步长以保证计算的稳定性,从而增加了计算成本。另外,在处理三维问题时,特征线法的计算复杂性也会增加。

4. 数值模拟方法

通过建立数学模型和使用计算机进行模拟,可以模拟和预测堤防渗流和稳定性的行为。数值模拟方法基于流体力学原理和土体力学原理,结合计算流体力学(CFD)和有限元分析(FEA)等技术,能够对复杂的渗流和稳定问题进行准确的分析和预测。数值模拟方法的基本步骤包括建立数学模型、离散化计算域、设定边界条件、求解数学模型以及结果后处理等。在堤防渗流稳定计算中,数值模拟方法可以考虑多种物理因素的相互作用,如渗流流体的流动行为、土体的应力变形特性、边坡的破坏机制等。数值模拟方法的优点在于能够较准确地模拟实际情况,具有较高的灵活性和可扩展性。通过调整模型的参数和边界条件,可以模拟不同的工况和场景,对堤防渗流和稳定性的响应进行分析和评估。此外,数值模拟方法可以提供丰富的结果信息,如渗流速度、水压分布、应力变形分布等,有助于深入理解问题的本质。然而,数值模拟方法也存在一些挑战和限制。首先,建立准确的数学模型需要充分了解渗流和稳定性的机理,以及合理的模型假设和参数选取。其次,计算量较大,需要使用高性能计算设备和优化算法来提高计算效率。此外,数值模拟方法的结果对初始条件和边界条件较为敏感,需要进行敏感性分析和验证。

四、结语

本论文对堤防渗流稳定计算进行了深入的探讨和研究,对提高堤防工程的安全性和可靠性具有重要意义。通过分析影响堤防渗流的关键因素和介绍常用的计算方法,为工程设计和施工提供了有益的指导和建议。然而,仍存在着需要进一步改进和完善的方面,包括提高计算精度、考虑更多复杂情况和边界条件、开发更高效的计算模型等。未来的研究可以继续探索新的计算方法和技术,以进一步提高堤防渗流稳定计算的准确性和可行性。期望本研究能够为水利工程领域的专业人士提供有益的参考,促进堤防渗流稳定性的提升,保障工程的安全运行和可持续发展。

参考文献:

- [1]张鹏.无黏性土堤防渗流及稳定计算的改进方法探讨[J].水土保持应用技术,2022,206(02):18-19.
- [2]闫磊.堤防加固工程渗流稳定和堤坡稳定计算与措施[J].河南水利与南水北调,2020,49(09):51-52.
- [3]马光怡,马占龙.堤防渗流稳定计算的探讨及应用[J].黑龙江水利科技,2017,45(11):174-175.
- [4]敬晨,李鹏飞.AutoBank软件在堤防渗流稳定计算中的应用[J].黑龙江水利科技,2015,43(11):48-50.
- [5]杜易杰,张丹汝,李龙.基于AutoBank软件对堤防渗流稳定的计算应用[J].水利科技与经济,2014,20(12):155-157+160.