

土石坝设计中的抗滑稳定性分析及加固措施研究

侯昊呈

贵州晟泰工程咨询有限公司

摘要：土石坝是一种常见的水利工程结构，其稳定性是保障工程安全运行的重要因素之一。因此，本研究的目的在于通过对土石坝抗滑稳定性分析和加固措施研究，提高土石坝的结构稳定性，预防和减少土石坝滑坡等灾害事故的发生。通过对土石坝抗滑稳定性进行分析，可以预测土石坝的稳定性，提高设计的科学性和可靠性；可以提高土石坝的结构稳定性，降低工程维护成本；通过本研究的成果，可以为土石坝的设计和加固提供参考，为保障工程安全和周边环境安全提供技术支持。

关键词：土石坝设计；抗滑；稳定性；加固措施

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2023.06.089

引言

土石坝作为一种重要的水利工程结构，在水利、能源、交通等领域发挥着重要的作用。然而，由于土石坝建设的地质和地形、筑坝材料及质量、运行管理等条件的不同，其抗滑稳定性也会有所不同。因此，土石坝的抗滑稳定性分析和加固措施研究是保障工程安全和稳定运行的重要环节。在进行土石坝抗滑稳定性分析的过程中，需要考虑到土石坝的大坝体型、填筑材料、地质、地形、水文等因素的综合影响，以保证分析结果的准确性和可靠性。同时，针对分析结果，需要采取必要的加固措施，提高土石坝的结构稳定性和安全性。本文将对土石坝抗滑稳定性分析和加固措施研究进行探讨和研究，以期对土石坝的设计和加固提供参考，为保障工程安全和周边环境安全提供技术支持。

一、土石坝抗滑稳定性分析

（一）土石坝抗滑稳定性概述

土石坝抗滑稳定性是指土石坝在不同工况的荷载作用下，能够保持稳定的能力。通常采用最小安全系数来评估土石坝的抗滑稳定性，要求计算出的坝体边坡的安全系数，不得小于最小安全系数。计算安全系数越大，土石坝的抗滑稳定性就越好，但又不能过大，避免造成资源的过度浪费。

据统计，在中国的土石坝中，特别是建设时间早、年久失修、的小型土石坝，存在着较大的安全隐患。造成这种情况的原因主要有两个方面：一方面是土石坝本身的结构设计和施工质量存在不足，另一方面则是水库水位变化、地震等外部因素的影响。针对这种情况，需要采取一系列的措施，来提高土石坝的抗滑稳定性。首先，应该优化土石坝的结构设计和施工质量，确保土石坝的稳定性和安全性。其次，应定期对土石坝进行巡

视和维护，及时发现和处理土石坝缺陷和安全隐患。此外，还可以采用一些工程技术手段，来提高土石坝的抗滑稳定性。

（二）抗滑稳定性计算方法的介绍

（1）平衡法：平衡法是一种基于静力学平衡原理的计算方法，通过对土石坝上、下游两侧的荷载、摩阻力、摩擦力和弹性反力等进行平衡分析，计算出土石坝的抗滑稳定系数。平衡法适用于土石坝较为简单的情况，计算简单、快捷。（2）叠加法：叠加法是一种基于荷载叠加原理的计算方法，将土石坝所受到的各种荷载按照不同的作用条件进行叠加，计算出土石坝的抗滑稳定系数。叠加法适用于复杂的土石坝结构，计算精度较高。（3）刚体极限平衡法：刚体极限平衡法是一种基于边坡稳定理论的计算方法，计算方法可采用计及条块间作用力的简化毕肖普法、摩根斯顿-普赖斯法等方法，通过对土石坝边坡的稳定性进行分析，计算出土石坝的抗滑稳定系数。极限平衡法适用于土石坝边坡较为陡峭的情况，计算结果具有较高的精度。（4）有限元法：有限元法是一种基于数值计算的计算方法，将土石坝结构建模，并利用计算机进行数值模拟和计算，得出土石坝的抗滑稳定系数。有限元法适用于复杂的土石坝结构和荷载作用条件，计算精度较高。以上这些计算方法都需要考虑土石坝所受到的各种荷载、地质条件、材料特性等因素，计算出土石坝的抗滑稳定系数，以保证土石坝的安全稳定。

（三）影响土石坝抗滑稳定性的因素分析

土石坝的抗滑稳定性是受多种因素影响的，主要包括土石坝的结构、地质条件、荷载作用、水位变化、地震等因素。

土石坝的结构设计和施工质量是影响抗滑稳定性的关键因素。结构设计不合理、施工质量差的土石坝，容易出现滑坡、滑动等安全问题，从而影响抗滑稳定性。其次，地质条件是影响土石坝抗滑稳定性的重要因素。地质条件差、基础承载力不足的地区，土石坝的抗滑稳定性也会受到影响。例如，一些地质条件复杂的地区，如贵州、四川、云南等地，土石坝抗滑稳定性普遍较低，需要采取更严格的抗滑稳定性措施。再次，荷载作用也是影响土石坝抗滑稳定性的重要因素。荷载作用包括水压力、重力、地震等，这些荷载作用会对土石坝的抗滑稳定性产生影响。例如，水位变化会导致土石坝上下游水压力的变化，从而影响土石坝的抗滑稳定性。最后，地震是影响土石坝抗滑稳定性的重要因素。地震会引起土石坝的震动和变形，从而影响土石坝的抗滑稳定

性。据统计，地震是导致土石坝破坏的主要原因之一。因此，为了提高土石坝的抗滑稳定性，需要从结构设计、施工质量、地质条件、荷载作用、地震等方面入手，采取科学有效的措施来加强土石坝的稳定性和安全性。

二、土石坝加固措施研究

（一）土石坝加固的基本原则和方法

土石坝作为一种重要的水利工程，其安全稳定性非常重要。在一些历史悠久的土石坝中，由于多年的运行和老化，其抗滑稳定性已经大大降低，需要进行加固。土石坝加固的基本原则是在不破坏原有结构的基础上，通过增加土石坝的稳定性和强度，提高其抗滑稳定性和安全性。土石坝加固方法主要包括以下几种：

（1）加强基础支撑：通过加固土石坝基础，增加其承载力，提高土石坝的稳定性。例如，在基础处加设混凝土墩或钢筋混凝土墙等结构，以提高基础承载力。

（2）加固坝体结构：在不破坏原有结构的情况下，通过加固土石坝的结构，增加其强度和稳定性。例如，在土石坝上部加设混凝土面板或加筋墙等结构，以增加土石坝的强度和稳定性。（3）增加防护措施：在土石坝表面增加一些防护措施，如加设防护墙、加固坝顶、增加排水系统等，以提高土石坝的抗滑稳定性和安全性。

（4）加强监测和维护：对于老化严重的土石坝，需要加强监测和维护，及时发现问题并采取措施加以修复和加固。通过加强监测和维护，可以有效地提高土石坝的抗滑稳定性和安全性。根据国家水利部的数据显示，我国土石坝的安全问题比较严峻，其中有大量的老化土石坝需要加固。因此，加固土石坝是一项非常重要的工作，对于保障水利工程的安全稳定性具有重要意义。在加固土石坝时，需要根据具体情况采取合适的加固方法，确保土石坝的安全稳定性。

（二）加固前的调查和分析

在进行土石坝加固工作之前，必须进行全面的调查和分析，以确定加固方案和措施。目的是调查大坝是否存在工程安全隐患与管理缺陷，分析大坝现状质量状况，提供能代表大坝性状的计算参数，了解土石坝的结构、材料、荷载情况，以及其抗滑稳定性和安全性等方面的情况。只有在充分了解土石坝的情况后，才能制定出科学合理的加固方案和措施，以提高土石坝的抗滑稳定性和安全性。调查和分析的内容主要包括土石坝的结构和材料、荷载情况、基础情况、变形和位移情况，以及相关的水文地质条件。

（三）加固措施的选择和设计

根据土石坝的调查和分析结果，制定出科学合理的加固方案和措施非常重要。加固措施的选择和设计需要根据土石坝的实际情况和加固目的，以提高土石坝的抗滑稳定性和安全性。常见的加固措施包括以下几种：

（1）增加基础支撑：通过在基础处加设混凝土墩

或钢筋混凝土墙等结构，以提高基础承载力，增加土石坝的稳定性。（2）加固坝体结构：在土石坝上部加设混凝土面板或加筋墙等结构，以增加土石坝的强度和稳定性。（3）增加防护措施：在土石坝表面增加一些防护措施，如加设防护墙、加固坝顶、增加排水系统等，以提高土石坝的抗滑稳定性和安全性。（4）加强监测和维护：对于老化严重的土石坝，需要加强监测和维护，及时发现问题并采取措施加以修复和加固。通过加强监测和维护，可以有效地提高土石坝的抗滑稳定性和安全性。

在具体的加固工程中，需要根据土石坝的实际情况和加固目的，选择适合的加固措施和设计方案，以提高土石坝的抗滑稳定性和安全性。因此，选择合适的加固措施和设计方案对于土石坝的加固工作来说至关重要。

三、实例分析

（一）某水库土石坝的抗滑稳定性分析

某水库土石坝的抗滑稳定性分析是对土石坝内部稳定性、外部稳定性、基础稳定性以及位移和变形情况进行综合评估的过程。以下是对各项指标的详细分析：

（1）土石坝内部稳定性

土石坝内部稳定性是针对土石坝内部土体的强度、切向应力、剪切应力、摩擦力等指标进行评估。在本例中，测量了土体层的土体强度、切向应力、剪切应力和摩擦力等指标，并与设计要求进行对比。结果显示，土体层的各项指标均符合设计要求，稳定性良好。

（2）土石坝外部稳定性

土石坝外部稳定性是针对土石坝外部坡面的高度、坡度、土体强度和切向应力等指标进行评估。在本例中，测量了坡面高度、坡度、土体强度和切向应力等指标，并与设计要求进行对比。结果显示，这些指标均符合设计要求，土石坝外部稳定性好。

（3）土石坝基础稳定性

土石坝基础稳定性是土石坝工程安全性的重要组成部分，对土石坝的长期稳定性和安全性具有关键作用。因此，在对土石坝进行调查和分析时，对其基础稳定性进行评估至关重要。在本例中，我们通过测量土石坝基础的承载力、土体强度和剪切应力等指标，对其基础稳定性进行了评估，并将其与设计要求进行了对比。结果表明，这些指标均符合设计要求，说明土石坝基础稳定性良好。然而，我们也要注意，土石坝基础稳定性的评估是一个复杂的过程，需要充分考虑多种因素的影响，如基础类型、土壤类型、荷载情况等等。因此，在进行土石坝基础稳定性评估时，应该采用多种方法和手段，综合考虑各种因素，以确保评估结果的准确性和可靠性。只有这样，才能保证土石坝工程的长期稳定性和安全性。

（4）土石坝位移和变形

土石坝位移和变形是针对土石坝在使用过程中可能

发生的位移和变形情况进行评估。在本例中，测量了位移和变形等指标，并与设计要求进行对比。结果显示，土石坝的位移和变形情况均符合设计要求，稳定性良好。某水库土石坝的抗滑稳定性分析结果表明，土石坝内部稳定性、外部稳定性、基础稳定性以及位移和变形情况都符合设计要求，稳定性良好。

（二）某水库土石坝的加固方案设计

为了提高某水库土石坝的结构稳定性，需要进行加固设计。加固方案主要包括坝体表面加固、坝体内部加固、土石坝基础加固以及设施完善等方面。其中，坝体表面加固主要是针对土石坝外部稳定性进行加固，采用喷涂混凝土的方式提升坝体的稳定性。坝体内部加固方案主要是针对土石坝内部稳定性进行加固，在土石坝内部设置加强筋或加固板，提高坝体的承载能力。土石坝基础加固方案主要是针对土石坝基础稳定性进行加固，在土石坝基础下设置加固筋或加固板，增强基础的承载能力。设施完善方案主要是针对水库管理水平进行提升，加强巡查和监测，建立完善的水库安全管理制度，及时发现和解决问题。

在加固方案设计过程中，需要结合相关数据和实际情况进行评估。首先，需要对土石坝内部和外部的稳定性进行详细分析，测量土石坝的高度、坡度、土体强度和切向应力等指标，并与设计要求进行对比。其次，需要对土石坝基础的承载力、土体强度和剪切应力等指标进行测量和评估。最后，需要对土石坝的位移和变形情况进行详细测量和评估，以确定加固方案的具体实施方案。

通过以上评估和分析，可以确定具体的加固方案，对土石坝进行加固设计，提高其结构稳定性和安全性，保障水库的正常运营。同时，还需要加强巡查和监测工作，及时发现和解决问题，建立完善的安全管理制度，确保水库的安全运营和周边环境的安全。

（三）加固效果的监测与评价

加固效果的监测与评价是保障加固方案实施效果的重要环节。为了确保加固方案的实施效果，需要根据加固方案中的监测指标和要求，对加固后的土石坝进行定期监测和评价。

监测指标一般包括位移、应力、变形、渗流、水位等多个方面。对于位移和变形等指标，可采用测量仪器进行实时监测，如全站仪、倾斜仪、应变计等，以实现土石坝的位移和变形情况的实时监控。对于应力和渗流等指标，也可采用相应的测量仪器进行实时监测，以保证加固方案的实施效果。评价加固效果的方法主要包括定性评价和定量评价两种方式。定性评价主要是通过对土石坝的现场观察和实测数据进行判断，以确定加固效果是否达到预期目标。而定量评价则是通过计算加

固前后土石坝的位移、应力、变形等指标的变化量，以确定加固效果的具体数值。在进行加固效果的监测与评价过程中，需要注意对监测数据的准确性和可靠性进行保障，同时也需要对监测数据进行分析 and 比较，以确定加固效果是否达到预期目标。只有通过不断的监测和评价，才能及时发现和解决问题，确保土石坝加固后的结构稳定性和安全性。

四、结论

在土石坝设计中，抗滑稳定性分析是非常重要的环节。通过对土石坝的抗滑稳定性进行分析，可以有效预测土石坝的稳定性，防止发生滑坡等灾害事故。同时，通过对土石坝的加固措施研究，可以提高土石坝的结构稳定性，保障其正常运营。在进行抗滑稳定性分析和加固措施研究的过程中，需要充分考虑土石坝的地质和地形条件，结合实际情况进行评估和分析。同时，还需要采用合适的技术手段和方法进行加固设计和实施，确保加固效果的可靠性和稳定性。在未来的土石坝设计和加固工作中，需要继续加强技术研究和实践探索，提高土石坝的结构稳定性和安全性。同时，还需要加强对土石坝的巡查和监测工作，及时发现和解决问题，确保土石坝的稳定运营，保障周边环境和人民群众的生命财产安全。

参考文献

- [1] 郝洁, 李军, 贾海磊, 潘文明. 规范修订对土石坝安全评价复核计算的影响[J]. 大坝与安全, 2022, (06): 42-47.
 - [2] 黄锦林, 高志涵, 张建伟, 侯福. 某土石坝坝坡稳定与防渗体影响分析[J]. 广东水利水电, 2021, (10): 5-10.
 - [3] 韩福涛. 土石坝坝坡抗滑稳定性分析及加固设计研究[J]. 治淮, 2021, (09): 36-37.
 - [4] 陈祖煜, 姚栓喜, 陆希, 袁友仁, 黎康平. 特高土石坝坝坡抗滑稳定安全判据和标准研究[J]. 水利学报, 2019, 50(01): 12-24.
 - [5] 李斌. 坝高超200m土石坝坝坡稳定风险控制标准[J]. 人民黄河, 2016, 38(11): 104-107.
 - [6] 白雪莲. 浅谈塑性混凝土心墙土石坝有限元计算的思考[A]. 云南省水利学会. 云南省水利学会2016年度学术年会论文集[C]. 云南省水利学会: 云南省科学技术协会, 2016: 261-265.
 - [7] 李斌, 孙平. 超200m级高土石坝坝坡稳定安全系数研究[J]. 人民长江, 2016, 47(05): 48-52.
 - [8] 李斌, 杜效鹄. 高土石坝坝坡稳定安全系数取值标准研究[J]. 水力发电, 2016, 42(01): 37-39+61.
- 作者简介: 侯昊呈(1991.11-), 男, 汉, 贵州省盘州市人, 本科, 工程师, 研究方向: 水利水电工程。