

水利工程施工中土石坝稳定性分析方法研究

奂周辉

新疆兵团水利水电工程集团有限公司 新疆 乌鲁木齐 830000

摘要: 土石坝作为一种常见的水利工程结构,在防洪、灌溉、发电等方面发挥着重要作用。然而,其稳定性直接关系到工程的安全运行和人民生命财产的安全。本文综述了土石坝稳定性分析的重要性、影响因素、分析方法及工程实践中的应用,旨在为水利工程施工中土石坝的稳定性分析提供理论参考和实践指导。

关键词: 土石坝稳;坝体材料性质;工程实践中的应用;评估坝体的稳定状态

引言

土石坝是一种利用当地土石材料建筑的挡水建筑物,具有就地取材、节约材料运输成本等优点。然而,由于土石坝的材料特性及复杂的施工环境,其稳定性问题一直是工程界关注的焦点。土石坝的稳定性分析旨在通过科学的计算和评估,确保坝体在各种工况下的稳定性,为工程设计和施工提供依据。

1 土石坝稳定性影响因素

1.1 地质条件

地质条件无疑是土石坝稳定性的坚实基石。坝址的地质构造特征,如岩层的分布规律、断裂带的存在与否、褶皱的形态等,都是评估坝基稳定性时必须考虑的关键因素。不良的地质构造往往意味着坝基承载力的潜在不足,可能诱发坝体沉降、倾斜乃至整体垮塌的严重后果。此外,地质灾害如滑坡、泥石流、地面塌陷等,更是对坝体安全构成直接威胁的“不定时炸弹”。它们或以直接冲击的形式,或以改变地形地貌的方式,对坝体造成破坏。而地震活动作为一种极端且不可预测的地质条件,其产生的强烈地震波能够导致坝体结构松动、裂缝扩展,甚至引发整体垮塌的灾难性后果。同时,坝址附近的地质活动,如地下水位的变化、岩溶的发育等,也可能通过改变坝基的水文地质环境,间接削弱坝体的稳定性。

1.2 水文条件

水文条件在土石坝稳定性分析中占据着举足轻重的地位。坝址流域的降雨情况,特别是暴雨的强度和频率,是预测水库水位变化和洪水流量的重要依据。高强度的暴雨往往导致水库水位迅速上升,洪水流量激增,从而对坝体产生巨大的冲刷力和渗透压力。这种冲刷力可能导致坝体材料流失,渗流加剧,甚至引发坝体溃决的严重后果。而水位的频繁变化,尤其是快速的水位上升和下降,会加剧坝体内的渗流和管涌现象,降低坝体

的整体稳定性。同时,高速水流对坝体的冲刷作用也是不容忽视的威胁,它可能导致坝体局部遭受严重破坏,进而威胁到整个坝体的安全稳定。

1.3 坝体材料性质

坝体材料性质,作为土石坝稳定性的内在基石,对坝体的长期安全稳定起着至关重要的作用。土的强度,这一核心指标,涵盖了抗压强度、抗拉强度和抗剪强度等多个方面,它们共同构成了土体抵抗外部荷载、保持结构完整的能力。抗压强度决定了土体在垂直荷载作用下的稳定性,抗拉强度则关乎土体在拉伸应力下的承受能力,而抗剪强度则是土体抵抗剪切破坏的关键。强度不足的土体,在外部荷载的持续作用下,极易发生变形、开裂甚至整体破坏,严重威胁坝体的稳定性。稠度,即土体的干湿程度,对土体的物理力学性质有着显著影响。过湿的土体,其凝聚力和摩擦力会大幅降低,导致坝体易于发生滑动和流变;而过干的土体,则可能因失水收缩而产生裂缝,同样削弱坝体的稳定性^[1]。因此,合理控制土体的稠度,是确保坝体稳定的重要一环。透水性,作为土体对水的渗透能力的度量,直接决定了坝体在水位变化时的渗流状况。高透水性的土体,容易导致水体快速渗透坝体,加剧渗流作用,进而引发管涌、流土等渗流破坏现象,严重威胁坝体的安全。因此,降低土体的透水性,提高坝体的防渗性能,是土石坝设计中必须重视的问题。此外,土体的颗粒组成、结构特征、矿物成分等也对坝体的稳定性产生着重要影响。颗粒组成决定了土体的密实度和孔隙结构,进而影响土体的力学性质和渗流特性;结构特征则反映了土体内部的排列方式和连接状态,对土体的强度和变形性质有着直接影响;而矿物成分则决定了土体的化学性质和耐久性,对坝体的长期稳定性具有深远影响。

1.4 施工方法

施工方法作为土石坝建设过程中的关键环节,对坝

体的稳定性有着直接且深远的影响。填筑速度的快慢,直接关系到土体的压实程度和密实度。填筑过快,可能导致土体压实不足,形成松散层,降低坝体的整体强度和稳定性;而填筑过慢,则可能延长工期,增加施工成本。因此,合理控制填筑速度,确保土体得到充分压实,是施工过程中的重要任务。碾压质量是控制土体密实度的关键手段。碾压不足,土体将保持松散状态,抗剪强度和承载力大幅降低;而过度碾压,则可能导致土体结构破坏,颗粒间连接减弱,同样影响坝体的稳定性。因此,根据土体的性质和施工条件,选择合适的碾压设备和碾压参数,确保碾压质量达到设计要求,是施工过程中的重要环节。此外,施工过程中的排水措施、防渗措施、反滤层设置等也对坝体的稳定性产生着重要影响^[2]。合理的排水措施可以有效降低坝体内的渗流压力,减少渗流破坏的风险;防渗措施则可以阻止水体渗透坝体,保护坝体免受渗流侵蚀;反滤层则可以防止细粒土被水流带走,保持坝体的完整性和稳定性。这些措施的实施需要充分考虑地质条件、水文条件及坝体材料性质,确保施工质量和效果。

1.5 其他因素

除了上述主要因素外,还有一些其他因素也可能对土石坝的稳定性产生不可忽视的影响。气候因素如温度、湿度等的变化,可能导致土体的物理力学性质发生变化,进而影响坝体的稳定性。例如,高温可能导致土体干燥收缩,产生裂缝;而低温则可能导致土体冻结膨胀,引发坝体变形。人为因素也是影响坝体稳定性的重要因素之一。管理不善、维护不及时可能导致坝体老化、损坏,如坝面植被滋生、坝体裂缝未及时修补等,都可能降低坝体的稳定性。因此,加强坝体的管理和维护工作,及时发现并处理潜在的安全隐患,是确保土石坝长期稳定运行的关键。生物因素如植被生长、动物洞穴等也可能对坝体稳定性造成一定影响。植被的生长可能改变坝体的表面形态和受力状态,进而影响坝体的稳定性;而动物洞穴则可能破坏坝体的结构完整性,降低坝体的承载力。

2 土石坝稳定性分析方法

土石坝的稳定性分析是水利工程领域中的关键环节,它直接关系到工程的安全与可靠性。在众多分析方法中,极限平衡法因其直观、简洁且易于操作的特点而被广泛应用。

2.1 极限平衡法

极限平衡法是土石坝稳定性分析中最常用且基础的方法之一。该方法基于土体在极限状态下的力学平衡原

理,假设滑裂面已知或可合理假定,并忽略土体的变形和屈服过程,仅考虑滑动面上的抗滑力与滑动力之间的平衡关系。通过计算这两者的相对大小,可以判断坝体是否处于稳定状态。极限平衡法的核心在于对滑动面上抗滑力和滑动力的准确计算。抗滑力主要由土体的抗剪强度提供,而滑动力则来源于重力、水压力等外部荷载。为了简化计算,通常将滑动土体划分为若干个条块,分别计算每个条块的抗滑力和滑动力,然后进行求和,得到总的抗滑力和滑动力。在实际应用中,极限平衡法有多种具体实现方法,其中瑞典圆弧法和毕肖普法是最为常用的两种。瑞典圆弧法适用于均质土坡或简单土层结构的土石坝,它假设滑裂面为圆弧形状,并通过试算不同的圆弧半径和圆心位置,找到使安全系数最小的滑裂面。而毕肖普法则考虑了土条间的侧向力,适用于更复杂的土层结构和非圆弧滑裂面,使计算结果更为准确^[3]。尽管极限平衡法计算简单、易于理解和实现,但它也存在一定的局限性。由于该方法忽略了土体的变形和屈服过程,仅考虑滑动面上的力学平衡,因此对于一些复杂工况和特殊土体(如非均质土、软土等),其准确性可能受到一定影响。此外,极限平衡法无法直接考虑土体的应力-应变关系,也无法反映坝体在失稳过程中的动态变化。因此,在实际应用中,通常需要结合其他分析方法(如有限元法、有限差分法等)进行综合评估,以确保分析结果的准确性和可靠性。

2.2 有限元法

有限元法(Finite Element Method, 简称FEM)作为一种先进的数值分析方法,在土石坝稳定性分析中展现出了强大的能力。该方法通过精细地将连续的土体划分为有限个相互连接的小单元,实现了对土体复杂应力分布和变形过程的精确模拟。每个小单元都被赋予特定的形状和尺寸,如三角形、四边形、四面体等,以便更好地适应土体的几何形状和边界条件。有限元法的核心优势在于其能够处理各种复杂的边界条件和土体性质。无论是非均质土、各向异性土,还是具有复杂层理结构的土体,有限元法都能通过精细的网格划分和恰当的边界条件设置,准确地模拟出土体在受力过程中的应力分布和变形情况。此外,该方法还能考虑多种荷载作用,如重力、水压力、地震荷载等,以及这些荷载对土体稳定性的影响。然而,有限元法的计算量相对较大,这是由于其需要对每个小单元进行详细的力学分析,并考虑单元之间的相互作用。为了获得准确的结果,通常需要划分大量的单元,并采用高精度的数值求解方法。这导致有限元法在分析大型土石坝或复杂土体结构时,需要较

高的计算机资源和较长的时间来进行计算和分析。尽管如此,随着计算机技术的不断进步和有限元法算法的不断优化,其计算效率正在逐步提高,使得有限元法在土石坝稳定性分析中的应用越来越广泛。

2.3 离散元法

离散元法(Discrete Element Method,简称DEM)是一种专为模拟颗粒材料行为而设计的数值方法。与有限元法将连续土体划分为小单元不同,离散元法将颗粒材料视为由一系列离散的、相互独立的单元(如颗粒、块体等)组成。这些离散单元之间通过接触力相互作用,共同构成了材料的整体行为。离散元法的核心优势在于其能够精确地模拟颗粒材料的流动和运输过程。在土石坝的稳定性分析中,离散元法可以很好地模拟土石坝的填筑过程,包括颗粒的堆积、密实以及由此产生的应力分布和变形情况。同时,它还能模拟土石坝在极端条件下的滑动过程,如地震、洪水等导致的坝体失稳,从而评估坝体的抗滑稳定性。然而,离散元法的计算量也相对较大。由于需要对每个离散单元进行详细的运动学和动力学分析,并考虑单元之间的接触力和碰撞效应,因此该方法在计算上较为耗时。此外,对于一些细观行为(如颗粒间的微观摩擦、粘结等)和复杂边界条件的模拟,离散元法可能存在一定的局限性。这要求研究者应用离散元法时,需要合理划分离散单元、选择恰当的接触力模型,并结合实际情况对模拟结果进行验证和校准^[4]。尽管存在上述挑战,但离散元法因其独特的模拟颗粒材料行为的能力,在土石坝稳定性分析、岩土工程、地质灾害预测等领域仍具有广泛的应用前景。随着计算机技术的不断进步和离散元法算法的不断优化,相信该方法在未来将能够更准确地模拟土石坝等颗粒材料的复杂行为,为工程实践提供更可靠的依据。

3 工程实践中的应用

在实际工程中,土石坝的稳定性分析是一项至关重要的任务,它直接关系到工程的安全性、可靠性和长期运行效果。为了全面、准确地评估坝体的稳定状态,工程师们需要结合具体的工程背景、地质条件、水文条件以及坝体材料的性质,综合运用多种分析方法进行计算和分析。首先,根据土石坝的实际情况,工程师会选择合适的分析方法。对于结构相对简单、土体性质较为均

一的坝体,极限平衡法可能是一个高效且准确的选择。而对于复杂地层结构、非均质土体或需要考虑土体变形和屈服的情况,有限元法则能提供更精细的分析结果。此外,对于颗粒材料构成的坝体,离散元法能够模拟其流动和运输过程,为评估坝体的填筑和滑动稳定性提供有力支持。在进行稳定性计算时,工程师会详细考虑各种可能的荷载组合和边界条件,包括自重、水压力、地震力、温度应力等,以确保分析结果的全面性和准确性。通过计算坝体在不同工况下的安全系数,可以量化坝体的稳定程度,为工程决策提供依据。然而,理论计算只是稳定性分析的一部分^[5]。为了确保分析结果的可靠性和实用性,工程师还需要结合现场监测数据进行验证。这些监测数据可能包括坝体的位移、沉降、应力分布等实时信息,它们能够反映坝体在实际运行中的状态,为稳定性分析提供重要参考。此外,工程实践经验也是不可或缺的一部分。通过总结过往土石坝工程的成功经验和失败教训,工程师可以更加深入地理解土石坝的稳定性问题,并在分析过程中考虑更多实际因素,从而提高分析的准确性和可靠性。

结束语

土石坝稳定性分析是水利工程施工中的重要环节,对于保障工程的安全运行具有重要意义。未来,随着数值计算和计算机技术的不断进步,土石坝稳定性分析的效率 and 精度将得到显著提高。同时,还需要加强现场监测和数据分析工作,为稳定性分析提供更加准确和可靠的依据。

参考文献

- [1]魏云猛.浅谈水利工程土石坝与围堰的施工技术要点[J].江西建材,2014,000(017):111-111.
- [2]高磊.水利工程土石坝施工技术与发展趋势[J].山西水利,2014(01):41-41.
- [3]盖高强.水利工程土石坝混凝土施工技术探讨[J].建筑工程技术与设计,2016,000(011):1363-1363.
- [4]陈代昌.水利工程土石坝建设与筑坝材料的研究[J].大科技,2018,000(036):152-153.
- [5]杨霖.水利工程土石坝枢纽设计中的要点分析[J].引文版:工程技术,2015(44):184-184.