

# 水库渗透变形稳定分析

徐鑫

哈密托实水利水电勘测设计有限责任公司

DOI:10.12238/hwr.v8i1.5159

**[摘要]** 水库是一种重要的水利工程,其稳定性直接关系到周边区域的安全与发展,因此需要针对水库渗透变形稳定性问题展开深入研究。本文通过对土的渗透变形破坏的类型进行分析,结合地质和工程力学的知识,开展了水库渗透变形的数值模拟与分析。通过各渗透变形破坏类型判别的方法,模拟水库渗透对土体的影响,探讨了渗透引起的土体变形机制,并对水库稳定性提出了改善措施。研究结果为水库工程设计与管理提供了科学依据。

**[关键词]** 水库工程; 渗透; 变形; 稳定性; 数值模拟

中图分类号: TV62 文献标识码: A

## Stability analysis of seepage deformation in reservoirs

Xin Xu

Hami Tuoshi Water Conservancy and Hydropower Survey and Design Co., Ltd

**[Abstract]** Reservoir is an important water conservancy project, and its stability is directly related to the safety and development of the surrounding area. Through the analysis of the types of permeability deformation and failure of soil, combined with the knowledge of geology and engineering mechanics, the numerical simulation and analysis of permeability deformation of reservoirs were carried out. Through the method of distinguishing the failure types of seepage deformation, the influence of reservoir infiltration on soil was simulated, the mechanism of soil deformation caused by infiltration was discussed, and the improvement measures for reservoir stability were proposed. The research results provide a scientific basis for the design and management of reservoir engineering.

**[Key words]** reservoir engineering; Infiltrate; Deformation; Stability; Numerical simulation

## 引言

水库作为水利工程的重要组成部分,在灌溉、防洪和发电等方面起着至关重要的作用。然而,随着水库运行过程中的长期渗透问题的积累,可能导致土体变形、稳定性降低,从而对水库工程的安全性和稳定性构成潜在威胁。因此,对水库渗透引起的变形与稳定性问题进行深入研究,具有重要的理论和实际意义。通过对水库渗透变形的数值模拟与分析,深入了解渗透引起的土体变形机制,进而探讨改善水库稳定性的有效措施。通过模拟不同情境下的变形过程,为水库工程提供科学合理的设计建议。

### 1 土的渗透变形破坏的类型

土体在渗流作用下发生破坏,由于土体颗粒级配和土体结构的不同,存在流土、管涌、接触冲刷和接触流失四种破坏形式。其中①流土:在上升的渗流作用下局部土体表面的隆起、顶穿,或者粗细颗粒群同时浮动而流失称为流土。②管涌:土体中的细颗粒在渗流作用下,由骨架孔隙通道流失称为管涌。③接触冲

刷:当渗流沿着两种渗透系数不同的土层接触面,或建筑物与地基的接触面流动时,沿接触面带走细颗粒称接触冲刷。④接触流失:在层次分明、渗透系数相差悬殊的两土层中,当渗流垂直于层面将渗透系数小的一层中的细颗粒带到渗透系数大的一层中的现象称为接触流失。前两种类型主要出现在单一土层中,后两种类型多出现在多层结构土层中<sup>[1]</sup>。黏性土的渗透变形形式主要是流土和接触流失。相比之下,无粘性土在渗透作用下表现出更为多样的破坏类型,包括了这四种形式。这些渗透变形破坏类型不仅在理论研究中具有重要价值,也对工程实践中的水利、基础设施等工程产生深远的影响。因此,深入理解不同土体在渗透作用下的变形破坏机制,对于科学合理地进行水文地质工程设计与管理具有重要的指导意义。

### 2 各渗透变形破坏类型判别的方法

针对各种渗透变形破坏类型的判别,科学合理的方法至关重要,因为不同类型的破坏可能涉及不同的机制和影响因素。在勘察过程中,为了准确判别土体渗透变形破坏的类型,勘察人员

应采用多种方法,以全面了解水的渗透作用对土体可能造成的不同影响。

对于黏性土中的流土和接触流失,常见的判别方法包括现场勘探和实验室试验。通过对黏性土的颗粒分布、含水量、孔隙水压力等进行详细的实地调查,结合室内试验,可以得到土体流变性质的参数。<sup>[2]</sup>基于这些参数,可以通过数学模型和工程经验判断土体是否具有流土和接触流失的倾向。

对于无粘性土中的流土、管涌、接触冲刷和接触流失类型的判别主要采用以下方法:①不均匀系数小于等于5的土可判为流土。②对于不均匀系数大于5的土:当 $P \geq 35\%$ 为流土;当 $25\% \leq P < 35\%$ 时,为过渡型;当 $P < 25\%$ 时,为管涌;(P:粗、细颗粒的区分粒径 $d$ 的颗粒含量。对于级配不连续的土:颗粒大小分布曲线上至少有一个以上粒组的颗粒含量小于或等于3%的土,称为级配不连续的土,以上述粒组在颗粒大小分布曲线上形成的平缓段的最大粒径和最小粒径的平均值或最小粒径作为粗、细颗粒的区分粒径 $d$ ;对于级配连续的土:粗、细颗粒的区分粒径为 $d_r$ ,其中 $d_{10}$ 、 $d_{70}$ 分别为小于该粒径的土重占总土重的10%、70%)。③对双层结构地基,当两层土的不均匀系数均等于或小于10,且 $D_{10}/d_{10} \leq 10$ 时,不会发生接触冲刷(其中 $D_{10}$ 、 $d_{10}$ 分别代表较粗和较细一层土的颗粒粒径(mm),小于该粒径的土重占总土重的10%)。④对于不均匀系数等于或小于5的土层,当 $D_{15}/d_{85} \leq 5$ 时,不会发生接触流失;对于不均匀系数等于或小于10的土层,当 $D_{20}/d_{70} \leq 7$ 时,不会发生接触流失(其中 $D_{15}$ 、 $D_{20}$ 代表较粗一层土的颗粒粒径(mm),分别为小于该粒径的土重占总土重的15%、20%;其中 $d_{70}$ 、 $d_{85}$ 代表较细一层土的颗粒粒径(mm),分别为小于该粒径的土重占总土重的70%、85%)。此外,必要时可通过数值模拟方法对土体渗透变形进行更为深入理解,有限元法和有限差分法等数值模拟方法被广泛采用,通过模拟土体渗透变形过程,使勘察者能够更全面、深入地认识这一复杂的地质现象。这些数值模拟方法通过数学模型对不同渗透变形破坏类型进行模拟,为分析提供了更为精细的工具。地质勘探提供了对地层结构和地质条件的初步认识,而实验室试验则能够获取土体物理力学性质等关键参数,通过对这些数据的分析来进行渗透变形类型的判别,再通过数值模拟结果进行更深入理解,最终形成一个综合的研究框架,有助于更全面、准确地判别不同类型的渗透变形破坏。在工程中,科学准确地判别渗透变形破坏类型对工程设计至关重要。<sup>[3]</sup>合理运用地质勘探、实验室试验和数值模拟等多种方法,不仅提高了判别的可靠性,同时为工程提供了更为可靠的设计依据。这种综合性研究方法的应用将有助于预测和防范渗透变形引发的地质灾害,保障工程的安全和稳定。

### 3 防治渗透变形破坏的措施

#### 3.1 地质勘探与监测

地质勘探与监测是水库渗透变形稳定分析的基础和关键,为保障水库工程的安全性提供了重要的信息支持。地质勘探是水库渗透变形破坏防治的起点。详细的地质勘探能够提供关于水库周边地质情况、岩土层分布、地下水位等关键信息。这为

后续的稳定性和防治措施的制定奠定了基础。监测手段的先进性与全面性对水库渗透变形的预警和控制至关重要。实时监测地下水位、土体位移、渗流速率等参数,能够及时发现渗透变形的迹象,提供准确的数据支持。这有助于及时采取防治措施,防范渗透变形的进一步发展。

监测不仅仅是事后的手段,更应该是预防的手段。通过建立健全的监测体系,对水库周边地质条件的长期跟踪,可以提前识别潜在的风险,采取预防性的措施,从源头上减轻渗透变形的可能性。地质勘探与监测应该是一个持续的过程。水库工程运行过程中地质条件可能发生变化,因此需要定期更新地质勘探数据,以确保勘探信息的时效性。监测体系也需要定期维护和更新,以保障监测设备的正常运行和数据的准确性。<sup>[4]</sup>地质勘探与监测是水库渗透变形防治的基础性工作,通过全面、及时、预防性的数据支持,为制定科学合理的防治措施提供了可靠的依据,确保水库工程的长期安全稳定运行。

#### 3.2 工程结构改进

在水库渗透变形破坏的防治中,工程结构改进是一项至关重要的措施。通过对水库工程结构的合理调整和增强,可以有效提高其抗渗透变形的能力,确保水库的长期稳定运行。如可采取设置水平与垂直防渗体,来延长渗径降低渗透坡降或截阻渗流;设置排水沟或减压井,来降低下游渗流口处的渗透压力;对可能发生管涌地段可铺设反滤层,来拦截可能被渗流带走的细小颗粒;对可能发生流土地段可在下游渗流口处加设盖重,来防止渗透破坏,以及加固坝体等工程手段,以提高工程的整体稳定性。在设计和建设阶段,可以采用防渗性能更好的材料,加强对可能存在渗漏隐患的部位的设计和施工质量控制,以最大限度地减小渗透变形的发生概率。

#### 3.3 渗透变形破坏机理研究

深入研究水库渗透变形破坏的机理对于科学防治和合理工程设计至关重要。对水库渗透变形破坏机理的深入研究是防治措施的科学基础。渗透变形是由多种因素综合作用引起的,包括地质条件、工程结构、水文气象等多方面的因素,了解这些机理可以有助于准确判别渗透变形的类型和程度。地质条件是渗透变形的关键因素之一。水库所处地区的地质情况对渗透变形有直接影响。通过地质勘探和监测,分析地下岩土层分布、地下水位变化等信息,可以揭示渗透变形破坏的潜在机理。工程结构对渗透变形机理的影响也是研究的重点。通过对已建水库的工程结构进行深入的分析,可以揭示其在渗透变形过程中的作用机理。

水文气象因素也是渗透变形的重要机理之一。气候条件的变化、降雨量的增加等都可能引起地下水位的升高,从而增加水库渗透变形的风险。通过对水文气象数据的分析,可以预测潜在的渗透变形机理,提前采取防范措施。综合多种因素的作用是渗透变形机理研究的重要内容。通过数值模拟、实验研究等手段,对多种因素共同作用下的渗透变形机理进行综合分析,可以更全面地认识渗透变形的本质。通过全面了解地质条件、工程结

构、水文气象等多方面因素,可以为科学有效的防治措施的制定提供可靠的理论依据。

### 3.4 综合治理

综合治理作为水库渗透变形防治的综合性措施,强调通过多层次、多角度的手段共同发挥作用,全面提高水库工程的抗渗透变形能力。综合治理的实施需要充分考虑地质条件、工程结构、水文气象等多个因素,确保治理效果的持久和全面。综合治理的前提是全面了解水库工程的地质情况。通过地质勘探、监测等手段,获取准确的地下岩土层分布、地下水位变化等信息,为后续治理方案的制定提供科学依据。地质信息的全面掌握有助于准确判别渗透变形的机理和程度,为治理方案的实施提供指导。

综合治理要注重工程结构的调整和加固,以有效减小渗透变形的可能性。水文气象因素也是综合治理的考虑因素之一。通过对水文气象数据的分析,可以更好地预测潜在的渗透变形风险,提前采取相应的防范措施。这可能包括加强排水系统建设、加固渗漏点等,以减轻渗透变形的发展。综合治理更需要定期检测和维护。综合治理是一种全面、科学的水库渗透变形防治手段,其实施需要全面考虑地质、工程结构、水文气象等多个方面的因素,以确保水库工程的稳定性和安全性。

### 3.5 监测与预警体系

监测与预警体系在水库渗透变形破坏防治中起着至关重要的作用,通过实时监测和预警,及时发现渗透变形的迹象,为采取紧急措施提供科学依据。监测与预警体系是水库渗透变形防治的关键组成部分,其目的是通过科学手段实时监测水库工程的变化,提前发现渗透变形的迹象,并在可能出现破坏之前采取相应的预防措施,从而保障水库工程的安全稳定。<sup>[5]</sup>建立完善的监测体系是监测与预警的基础。监测体系应包括多层次、多要

素的监测手段,如地下水位监测、坝体变形监测、渗漏水质监测等。通过这些监测手段,可以全面掌握水库工程的运行状态,及时发现异常变化。

监测数据的分析与处理是预警体系的核心。监测数据需要通过专业的技术手段进行分析和处理,建立相应的模型和算法,从而识别出可能的渗透变形迹象。这需要充分利用现代信息技术,实现数据的自动化采集和处理,提高监测数据的精确性和实时性。建立科学的预警标准和机制也是预警体系的重要组成部分。预警标准应该根据水库工程的具体情况制定,包括地质特征、工程结构、水文气象等多个方面的因素。

## 4 总结

总的来说,通过系统研究了水库渗透变形稳定性问题,提出了科学可行的改善措施。通过对黏性土和无粘性土的不同渗透变形破坏类型的深入研究,为水利工程设计和管理工作提供了有力的理论支持。这一研究为未来类似工程的设计和管理提供了参考,并为水文地质工程领域的研究提供了新的思路。

### [参考文献]

- [1] 水利水电工程地质勘察规范修编启动[J]. 岩土工程界, 2005, 008(11): 14.
- [2] 周革. 十三陵水库上游坝坡渗透变形稳定性分析[D]. 华北水利水电学院, 2023.
- [3] 刘鹏飞. 某水库大坝渗流稳定分析[J]. 河南水利与南水北调, 2022, 51(7): 2.
- [4] 邓烈, 陈文斌. 水库均质土坝渗流稳定分析及防渗加固设计[J]. 水利技术监督, 2023, (6): 271-274.
- [5] 何艳华. 堤防渗透变形成因分析及加固处理措施[J]. 西部探矿工程, 2015, 27(7): 182-183, 187.