

## 电力技术

## 水利水电工程地质灾害问题与防御技术措施

熊天满

玉溪市水利建设有限公司

DOI: 10.12238/jpm.v6i5.7981

**[摘要]** 水利水电工程作为国家基础设施建设的关键领域,对经济发展和社会稳定意义重大,但在实际的工程建设与运营过程中面临着多种地质灾害威胁,严重影响工程安全与效益。本文详细阐述水利水电工程常见的地质灾害种类,包括滑坡、崩塌、泥石流、岩溶塌陷及地震等,深入分析其形成机制与危害,并针对性提出一系列有效的防御技术措施,旨在为水利水电工程地质灾害防治提供全面的理论与实践参考,保障工程的长期稳定运行。

**[关键词]** 水利水电工程; 地质灾害问题; 防御措施; 工程安全

## Geological disaster problems and defense technical measures of water conservancy and hydropower projects

Xiong Tianman

Yuxi Water Conservancy Construction Co., LTD.

**[Abstract]** As a critical area of national infrastructure construction, water conservancy and hydropower projects play a significant role in economic development and social stability. However, during the actual construction and operation of these projects, they face various geological hazards that severely impact safety and efficiency. This paper provides a detailed overview of common geological disasters associated with water conservancy and hydropower projects, including landslides, rockfalls, debris flows, karst subsidence, and earthquakes. It delves into the mechanisms and impacts of these disasters and proposes a series of effective preventive measures. The aim is to offer comprehensive theoretical and practical references for the prevention and control of geological disasters in water conservancy and hydropower projects, ensuring their long-term stable operation.

**[Key words]** water conservancy and hydropower engineering; geological disaster problems; defense measures; project safety

## 1. 水利水电工程的地质灾害种类

## 1.1 滑坡

滑坡是水利水电工程区域常见且危害极大的地质灾害之一<sup>[1]</sup>。在建设大坝基础时,施工单位往往需要进行大规模的土方开挖作业,若开挖坡度设计不合理,坡体内部应力平衡会被打破,原本稳定的岩土体结构遭到破坏。此时,降雨会使岩土体含水量增加,重度增大,抗滑力降低;地震产生的地震波震动山体,增加下滑力。在上述外部因素作用下,滑坡极易发生。此外,河流长期冲刷岸坡,带走大量岩土体,导致岸坡坡度变陡,稳定性下降,增加滑坡发生的风险。滑坡一旦发生,会直接掩埋施工场地,破坏施工现场的各类建筑物和施工设备,导

致施工被迫中断。大量滑坡体进入河道,会堵塞河道,改变河流的正常流向和过水能力,如果滑坡体滑入水库,会引发巨大涌浪,直接威胁大坝及周边设施安全,甚至可能造成大坝垮塌等严重后果,给下游地区带来不可估量的损失。

## 1.2 崩塌

崩塌通常发生在高陡边坡地段,是水利水电工程建设与运营过程中不可忽视的地质灾害<sup>[2]</sup>。在水利水电工程建设期间,大规模的边坡开挖作业使原本被覆盖的岩土体暴露于自然环境之中,长此以往,岩土体不断受到风化作用的侵蚀,岩石逐渐破碎;雨水的持续冲刷,会带走岩土体表面的细小颗粒,削弱其结构强度;寒冷地区的冻融循环反复作用,水在岩石裂隙

中冻结膨胀、融化收缩,使裂隙不断扩大;在多种因素叠加下,岩土体强度和稳定性逐渐降低,极易沿着裂隙面分离、坠落。一旦发生崩塌,从高处滚落的岩块具有强大的冲击力,不仅会直接砸向下方的施工人员、各类施工设备以及临时搭建的建筑物,妨碍工程建设,阻碍工程进度,还可能导致施工人员伤亡。进入工程运营期,若靠近交通线路的边坡发生崩塌,滚落的岩块会占据道路,过往车辆躲避不及便会撞上,威胁车内人员生命安全,也会造成交通堵塞,影响区域交通的正常运行。

### 1.3 泥石流

泥石流的形成需要特定的地形、地质和气象条件。水利水电工程所在山区的地形起伏大、沟谷深切,会导致降水时雨水迅速汇聚,在沟谷中形成强大的水流,为泥石流的发生提供地形条件。从地质角度来看,松散的岩土体是泥石流的物质基础。在水利水电工程建设过程中,如果弃渣、弃土处置不当,大量堆积在沟谷里,会为泥石流的形成埋下隐患。一旦遭遇强降雨,松散物质在雨水的冲刷和浸泡下会迅速与雨水混合,形成黏稠的泥石流流体。泥石流具有强大的冲击力和破坏力,不仅会瞬间冲毁桥梁、道路、堤坝等水利水电设施,被泥石流裹挟的泥沙和石块还会大量淤塞河道,导致河道排水不畅,水位抬升,增加洪涝灾害的风险。此外,泥石流进入水库后会逐渐淤积,减少水库库容,直接影响工程的防洪、发电等重要功能,影响周边地区的生产生活。

### 1.4 岩溶塌陷

岩溶塌陷主要发生在碳酸盐岩广泛分布的地区,此类岩石在地下水的溶蚀作用下,会逐渐形成大量的溶洞、溶蚀裂隙等复杂的岩溶形态。规模较小的岩溶形态通常隐藏在地下深处;规模较大的岩溶形态则会形成地下暗河系统。在水利水电工程建设中,水库蓄水是关键环节。当水库蓄水后,水位大幅上升,原本稳定的地下水动力条件被彻底改变。水位的变化会导致地下水的压力和流向发生改变,对溶洞顶板产生额外的压力,当压力超过溶洞顶板的承载能力时,可能导致溶洞顶板塌陷。岩溶塌陷会使库水通过溶洞和裂隙渗漏到地下,直接影响水库的蓄水能力,导致水库无法达到预期的蓄水量,降低工程效益。另外,如果岩溶塌陷发生在大坝基础下方,会直接威胁大坝基础的稳定性,一旦大坝基础失稳,在水压力等作用下,可能引发大坝垮塌等重大事故,给下游地区带来巨大的生命财产损失,破坏周边的生态环境和基础设施。

### 1.5 地震

地震是一种极具破坏力的地质灾害。当地震发生时,强烈的地面振动会直接作用于大坝、溢洪道等关键建筑物<sup>[3]</sup>。大坝承受着巨大的惯性力和动水压力,坝体可能出现裂缝,一旦裂缝不断扩展,会削弱大坝结构强度,严重情况下,大坝会产生

明显变形,甚至整体倒塌。溢洪道若受到地震破坏,在洪水来临时将无法正常泄洪,极易引发洪水漫顶等严重事故。地震引发的山体震动会让原本不稳定的山体更加脆弱,极大地增加滑坡、崩塌等地质灾害发生的概率。当大量岩土体滑落时,不仅会掩埋工程设施,还可能堵塞河道,影响工程正常运行,且地下输水管道、电力设施等也难以在地震中幸免。输水管道破裂会导致水资源泄漏,影响供水;电力设施损坏则会造成工程停电,无法保障设备运转,一系列的连锁反应不仅会导致水利水电工程无法正常运行,还会切断周边地区的水电供应,严重影响人们的生产生活,阻碍经济发展。

## 2. 水利水电工程地质灾害的防御技术措施

### 2.1 工程勘察

在水利水电工程建设前期进行详细、准确的工程勘察至关重要。通过地质测绘、地球物理勘探、钻探等多种手段,能够全面了解工程区域的地质构造、岩土体性质、水文地质条件等关键信息<sup>[4]</sup>。地质测绘是基础,技术人员徒步穿梭于工程区域,仔细观察、记录地层岩性,判断地质构造走向,分析地貌形态的形成原因和稳定性,以此查明基本地质特征,初步掌握区域地质状况。地球物理勘探技术能利用地球物理场的变化来探测地下结构,比如电阻率法能依据不同岩土体的电阻率差异,绘制出地下电阻率分布图像,推断地质结构;地震折射波法通过分析人工激发的地震波在地下传播的折射情况,快速探测地下地质结构,精准定位潜在的地质灾害隐患区域。钻探是获取岩土体实物样本的关键方法,利用专业钻探设备,深入地下获取岩芯样本,将样本带回实验室进行密度、抗压强度、抗剪强度等物理力学参数测定,能为工程设计提供精准数据支持。例如,在某水利枢纽工程勘察中,通过综合运用多种勘察方法,发现了坝址区存在一条隐伏断层,设计团队根据勘察结果调整工程设计方案,避开断层,有效避免了因断层活动可能引发的地质灾害风险,保障了工程的安全建设与稳定运行。

### 2.2 边坡防护

边坡的稳定性直接关系到整个水利水电工程的安全。对于高陡边坡而言,削坡减载是一种常用且有效的方法。高陡边坡的坡顶岩土体重量较大,在重力作用下会产生较大的下滑力,容易导致边坡失稳。通过减少坡顶的岩土体重量,能够降低下滑力,使边坡重新达到稳定状态。在实际操作中,施工人员会根据边坡的具体情况,精确计算需要削减的岩土体量,以确保在不影响边坡整体结构的同时,有效降低下滑力。采用挡土墙、抗滑桩等支挡结构,能进一步增强边坡的抗滑能力。挡土墙可以直接阻挡岩土体的滑动,阻止其向下位移。抗滑桩可以深入稳定的岩土体中,将滑坡体的推力传递到稳定地层,从而有效抵抗滑坡体的滑动。采用浆砌石护坡、混凝土护坡等方式进行

坡面防护同样重要。浆砌石护坡可以利用石块之间的相互咬合以及砂浆的黏结作用，形成坚固的防护层，有效防止雨水冲刷、风化等对坡面的破坏；混凝土护坡能更紧密地贴合坡面，抵御外界侵蚀。例如，在某水电站边坡防护工程中，通过削坡减载减轻了坡顶压力，利用抗滑桩将滑坡体推力传递到稳定地层，再结合浆砌石护坡保护坡面，能有效保障边坡的稳定，成功避免滑坡灾害的发生，确保水电站的安全运行。

### 2.3 优化排水系统

完善的排水系统对于水利水电工程预防地质灾害、保障工程安全起着至关重要的作用。地下水位过高和岩土体含水量过大，会显著降低岩土体的抗剪强度，增加滑坡、坍塌等地质灾害发生的风险。设计合理、运行良好的排水系统，能够有效降低地下水位，减少岩土体的含水量，从而提高岩土体的抗滑稳定性，从源头上预防地质灾害。在工程建设过程中，需要综合考虑工程区域的地形、地质条件，合理设置地表排水系统和地下排水系统。地表排水系统主要由截水沟和排水沟组成，其中，截水沟一般设置在边坡顶部，能够拦截坡面以上的地表水，使其无法流入边坡范围，避免地表水对边坡的冲刷和渗透。排水沟主要沿着坡面或地势较低的位置布置，负责排除坡面上的积水，确保坡面保持干燥。地下排水系统同样不容忽视，常见的方式有排水孔和排水廊道。排水孔是在岩土体中钻孔，使地下水通过孔洞汇集并排出；排水廊道则是在地下修建的通道，能够更高效地引导地下水流动并将其引出。例如，在某水库大坝建设中，为了确保大坝的稳定性，建设者在坝体内精心设置了纵横交错的排水廊道和排水孔，这些排水设施相互配合，将坝体内的地下水迅速排出，能有效降低坝体的地下水位，极大地增强大坝的稳定性，保障水库的安全运行，避免因地下水位过高可能引发的坝体渗漏、滑坡等严重问题。

### 2.4 地基处理

针对岩溶塌陷等地基问题，需要进行有效的地基处理。对于浅层溶洞，回填是一种较为常用且有效的处理方法。在实际的施工过程中，可以将混凝土、碎石等材料填入溶洞，促使其与周围岩土体紧密结合，填满溶洞空间，从而增强地基的承载能力。混凝土的高强度和黏结性以及碎石的良好级配和摩擦力共同作用，能促使地基更加稳固，有效支撑上部结构的重量。对于深层溶洞，因其深度大、处理难度高，通常采用灌浆加固的方法，即通过向溶洞内灌注水泥浆等浆液，利用压力使浆液在溶洞内充分扩散、渗透到周围岩土体的孔隙中，随后凝固形成结石体。结石体不仅可以填充溶洞，还可以改善周围岩土体的力学性质，提高地基的稳定性。例如，在某水利工程地基处理过程中，技术人员面对发现的溶洞，采取先回填碎石再进行灌浆加固的综合处理方案，成功解决了岩溶塌

陷问题，能有效确保工程基础的安全，保障水利工程的顺利建设与长期稳定运行。

### 2.5 地震监测预警

在地震活跃区建立地震监测预警系统是保障工程安全 and 人员生命财产安全的关键举措<sup>[5]</sup>。通过在工程周边合理布局地震监测台站，配备高精度的监测仪器，能够精确记录地震波的各项数据，实时捕捉地震活动的蛛丝马迹。一旦监测到地震发生，预警系统能迅速启动，利用先进的算法快速计算出地震的震级、震中位置、地震波传播方向等关键参数，并以最快速度将预警信息发送到工程区域的各个角落，提醒工作人员及时采取应急措施。例如，提前开启溢洪道，将水库水位降低，以减轻地震时大坝所承受的水压力，避免因大坝受力过大而出现裂缝甚至垮塌的危险。立即组织人员疏散，按照预先制定的疏散路线，有序地将施工人员或运行管理人员转移到安全地带，保障人员生命安全。在工程设计阶段，不仅要选择合理的结构形式，以确保工程能更好地抵御地震力，还要采用抗震构造措施，增强建筑物的整体性和延性，提高其抗震能力，从而在地震发生时最大程度降低损失，确保水利水电工程在地震活跃区也能安全稳定运行。

### 结语

综上所述，水利水电工程地质灾害的防治工作具有复杂性和系统性，涵盖工程建设的所有环节，通过深入探究各类常见地质灾害，并采取有针对性的防御技术措施，能够有效减轻地质灾害对水利水电工程的不利影响，确保工程安全稳定运行。在未来水利水电工程的建设过程中，应持续强化地质灾害防治技术的研发与应用，提升工程建设品质与安全性，为经济社会的可持续发展奠定坚实基础。

### [参考文献]

- [1]李杰.水库水利工程地质灾害防治技术及措施[J].农业灾害研究, 2023, 13(7): 287-289.
  - [2]李强.水库水利工程地质灾害防治技术及措施[J].农业灾害研究, 2022, 12(11): 129-131.
  - [3]李洋.水利工程地质灾害防治技术研究[J].中国高新技术, 2023, (2): 140-141, 144.
  - [4]孙红敏.水利水电工程地质灾害与防御措施[J].河南水利与南水北调, 2021, 50(7): 97-100.
  - [5]杨红志.水利水电工程地质灾害问题的初步研究[J].治淮, 2024, (6): 87-88.
- 作者简介：熊天满，1990.10，男，籍贯：云南大理祥云县，民族：汉族、学历：本科、职称：工程师；研究方向：水利水电工地地质。