

水利水电工程地质灾害与防御措施

汪祥兆

中国电建集团中南勘测设计研究院有限公司，湖南 长沙 410014

[摘要]水利水电工程于满足能源供应这一需求、改善水资源管理状况以及提升防洪抗旱的能力等方面，均发挥着颇为重要的作用。不过，因为这类工程往往处于山区或者地质情况较为复杂的河谷区域，其岩土体呈现出破碎的状态，地质构造也极为复杂，并且水文气象条件是多变不定的，再者还有施工过程中产生的扰动以及水库蓄水所带来的影响，所以工程常常会遭受滑坡、渗漏还有库岸失稳等各类地质灾害的威胁。文中把滑坡当作主要的研究对象，针对水利水电工程地质灾害的成因以及影响机制展开分析，进而提出一套综合防御措施体系，其中涵盖了依据不同地域情况而定的工程防御举措、排水防渗相关技术、风险评估以及监测预警方面的内容，同时也包含施工管理以及应急处置等方面的做法，以此为工程的安全管理工作给予科学方面的依据以及实践方面的参考。

[关键词]水利水电工程；地质灾害；防御措施

DOI: 10.33142/hst.v8i11.18311

中图分类号：TV22

文献标识码：A

Geological Hazards and Defense Measures in Water Conservancy and Hydropower Engineering

WANG Xiangzhao

PowerChina Zhongnan Engineering Corporation Limited, Changsha, Hunan, 410014, China

Abstract: Water conservancy and hydropower projects play an important role in meeting the demand for energy supply, improving water resource management, and enhancing flood control and drought resistance capabilities. However, due to the fact that such projects are often located in mountainous areas or river valleys with complex geological conditions, their rock and soil masses are in a fragmented state, and their geological structures are extremely complex. In addition, the hydrological and meteorological conditions are constantly changing, and there are disturbances generated during the construction process and the impact of reservoir water storage. Therefore, the projects are often threatened by various geological disasters such as landslides, leaks, and instability of reservoir banks. The article takes landslides as the main research object, analyzes the causes and impact mechanisms of geological disasters in water conservancy and hydropower engineering, and proposes a comprehensive defense measure system, which includes engineering defense measures, drainage and anti-seepage related technologies, risk assessment, monitoring and early warning based on different regional conditions, as well as construction management and emergency response practices, which provides scientific basis and practical reference for the safety management of engineering.

Keywords: water conservancy and hydropower engineering; geological hazards; defensive measures

引言

近些年来，我国水利水电工程建设的规模一直在不断地扩大。工程所处的区域，其地质条件是比较复杂的，地形地貌呈现出陡峻的特点，而且水文气象方面的条件也发生了十分显著的变化，这就使得滑坡以及相关的地质灾害所存在的风险变得日益凸显起来。工程所在的区域大多都是山区或者是河谷地带，在这样的环境下，岩土的结构是不均匀的，断层裂隙发育情况也比较明显，松散沉积物更是广泛地分布于其中。施工过程中的扰动以及库区蓄水的

情况，还会进一步对边坡的稳定性以及地下水的动态产生影响，如此一来，便使得工程无论是在建设阶段还是在运行阶段，都面临着较高的风险。本文依照概述、类型、成因以及综合防御措施这样的逻辑顺序，全面且细致地阐述滑坡灾害的相关特征，并且还会提出一些切实可行的防控策略。

1 水利水电工程地质灾害概述

水利水电工程地质灾害指的是在工程建设、运行以及其周边区域，由于自然地质条件、水文气象因素还有人为

活动共同起作用而引发的具有破坏性的地质现象，其主要的特点是突发性强、破坏力大、影响范围较为广泛。地质灾害的发生会威胁到工程结构的安全与稳定，还可能给施工人员、下游居民以及生态环境带来严重的不良影响。在库区蓄水的过程当中，水位的变化有可能引发库岸滑坡、地面沉降以及渗漏等情况，从而对大坝以及附属建筑物的长期安全产生影响。水利工程区大多处于地质条件复杂的山区，岩土体结构并不均匀，断层裂隙发育程度高，岩溶以及松散沉积物分布广泛，这些自然因素决定了工程容易受到多种地质灾害的威胁。所以，对地质灾害特征的全面了解是制定科学防控措施的基础。

2 水利水电工程常见地质灾害类型

2.1 滑坡灾害

滑坡灾害属于水利水电工程区域里极为常见的一种地质灾害类型，其往往出现在那些陡坡或者边坡处于不稳定状态的地段。滑坡的形成同岩土体的结构状况、坡度的大小、降雨量的多少以及施工过程中的扰动情况有着紧密的关联，当坡体遭遇饱和水分的浸润或者受到外部荷载的作用之时，土石体就极有可能出现整体或者局部的下滑现象。滑坡不但会对坝基、渠道以及输水设施造成破坏，而且还可能把施工道路阻断，进而导致工程进度被延误，施工成本也随之增加。在水库完成蓄水之后，库岸坡体受到水位变化以及渗透压力的影响，滑坡发生的概率还会进一步提升，其呈现出破坏速度较快、破坏范围较广的特点，这无疑给工程管理带来了极大的挑战。所以，在工程设计以及施工的各个阶段，务必要充分考量边坡的稳定性，采取行之有效的加固以及防护举措，以此来降低滑坡的风险。

2.2 泥石流灾害

泥石流是一种含有大量泥沙、石块等固体物质的特殊洪流。在水利工程周边山区有丰富的松散固体物质来源，且地形陡峻、沟谷深切，同时在短时间内有大量降水或冰雪融水时，则容易引发泥石流。水利工程建设过程中的弃渣随意堆放，为泥石流提供了物质条件。不合理的工程活动破坏地表植被，也会增加泥石流发生的可能性。

3 水利水电工程地质灾害成因分析

3.1 地质构造与岩土条件因素

地质构造以及岩土条件属于水利水电工程地质灾害发生的根源性要素。一般而言，工程所在区域常常存在着断层、褶皱，并且岩层倾角呈现出较为明显的变动情况，这些地质构造所具有的特征致使岩土体力学性质出现不均匀的情况，其稳定性也较差，如此一来，边坡以及坝基

便很容易产生失稳状况。岩土体类型、层理还有强度参数方面存在的差异会直接对滑坡、崩塌以及岩溶塌陷的发生概率起到影响作用，就好比松散砂土、砾石层以及风化岩体在受到重力以及水力的作用时，更易于出现整体滑移或者局部塌陷的现象。地下空洞以及岩溶发育的区域，在地应力、水流侵蚀以及施工扰动的作用之下，较易出现坍塌以及地面沉降等情况，最终引发库岸以及坝基出现不均匀沉降的状况。上述这些地质条件所呈现出来的不稳定性决定了工程在设计、施工以及运行的整个过程当中都得充分考量地质因素所发挥的作用，要采取科学合理的加固与防护举措，以此来降低灾害出现的风险。

3.2 水文气象条件影响

水文气象方面的条件属于影响水利水电工程地质灾害的关键外部要素。在工程所在的区域当中，倘若出现降雨集中、暴雨频繁发生或者处于冰雪融水集中的时期，那么地表水以及地下水便会快速增多起来，这使得土体还有岩体的含水量有所提升，孔隙水压力也随之增大，如此一来便会让边坡的抗剪强度降低下来，进而诱发滑坡、泥石流以及边坡崩塌等现象。洪水的冲刷以及水流的湍急情况，对于库岸以及坝基会产生侵蚀作用，这会进一步让工程地质体的稳定性遭到削弱。与此干旱和多雨这两种情况交替发生变化，也有可能致使岩土体出现干湿循环方面的变化，如此一来就会让土体产生收缩和膨胀的情况，进而加剧裂隙的扩展以及边坡的破坏程度。水文气象条件存在着不确定性，并且还具有季节性的特点，所以工程在设计阶段以及施工阶段都必须要全面综合地去考量降雨、洪水、地表径流以及地下水变化所产生的作用，要采用行之有效的防渗排水以及边坡稳定控制方面的技术，以此来确保工程能够安全地运行。

3.3 工程建设活动诱发因素

水利水电工程建设进程当中，各类施工活动给地质环境带来的扰动情况，这无疑是灾害发生的极为重要的引发因素。像大规模开展的土石方开挖作业、针对边坡实施的削坡操作、坝基基坑的开挖事宜，还有施工机械所产生的荷载作用，这些统统都会致使原有的地质体应力状态发生改变，进而使得边坡以及岩土体原本的整体稳定性有所下降。与此在施工期间，弃渣随意堆放、施工道路任意开挖以及植被遭到肆意破坏等行为，会加快水土流失的速度，并且加剧地表侵蚀的程度，如此一来便为滑坡、崩塌以及泥石流等灾害提供了相应的物质条件以及触发条件。在水利工程施工环节，倘若没有严格按照规定去控制施工顺序、施工方法以及临时排水系统的设置，那么同样有可能让地

质灾害发生的概率有所增加。所以说，在施工阶段，科学合理地去组织施工流程，依据实际情况合理配置机械设备，全力维持边坡的稳定状态并且注重对植被加以保护，这才是有效降低因工程而诱发地质灾害的关键举措。

3.4 水库蓄水与运行影响

水库在蓄水以及运行的阶段，对于水利水电工程所存在的地质灾害会产生颇为显著的影响。当蓄水之时，库岸边坡会受到水位变化方面的影响，进而使得孔隙水压力出现升高的情况，如此一来便致使边坡土体的强度有所降低，同时滑坡、塌陷发生的可能性也随之增加了。在蓄水这个过程当中，库区的地下水位出现了上升的情况，这有可能引发渗漏、管涌以及坝基出现不均匀沉降等状况，从而对工程的结构安全形成了一定的威胁。除此之外，在蓄水期间，水流的冲刷以及波浪的作用会对库岸造成侵蚀，这会进一步地让土体的稳定性遭到削弱，进而引发边坡塌陷或者坡脚失稳等相关现象。并且，水库调度以及运行管理要是不够合理，那么同样有可能致使库区水位出现快速的变化，这样以来，工程周边的地质体其受力条件就会迅速地发生改变，最终使得地质灾害发生的险情增加。所以说，蓄水的设计以及运行方案务必要全面且细致地去考量库区边坡的稳定性、水位变化所遵循的规律以及渗漏该如何去加以控制等问题，唯有如此才能够切实有效地确保工程能够实现长期的安全稳定状态。

4 水利水电工程地质灾害综合防御措施

4.1 因地制宜的工程防御与结构加固措施

因地制宜的工程防御以及结构加固举措，构成了保障水利水电工程安全的根基所在。依据工程所处不同地质条件、各类边坡类型以及灾害呈现出的不同特征，去采取具有针对性的支护办法、加固手段以及挡护举措，如此便能够有效地降低滑坡、崩塌还有泥石流等一系列灾害出现的概率。就好比在地形陡峭的山坡或者岩体破碎的地方，可以运用锚杆、喷射混凝土、钢筋混凝土挡墙又或者是土石混合护坡的方式来加以加固，进而提升边坡的整体稳定性。而在泥石流频发的区域，则可设置拦石坝、缓冲堤以及泥石流引导沟，凭借对泥石流路径和流量加以控制的方式，达成对工程设施予以防护的目的^[1]。在岩溶以及空洞较为发育的区域，可以通过实施填充、灌浆以及防渗处理等相关操作，以此来削减塌陷以及沉降的风险。综合且灵活地运用结构加固与防护方面的各项技术，并且充分结合现场地质勘查所获取的数据，进而实现工程个性化的科学设计，这无疑是确保水利水电工程能够长期保持稳定状态的一项极为重要的手段。

4.2 排水防渗与地质灾害工程控制技术

排水防渗以及工程控制方面的技术，对于减少因水文因素而引发的地质灾害而言，属于极为重要的举措。在边坡、库岸还有坝基所在的这些区域去着手建立起行之有效的排水系统，如此一来便能够使土体的含水量得以降低，同时也能够让孔隙水压力有所下降，进而促使边坡的稳定性得以增强，土体的承载能力也会相应提升^[2]。工程防渗所涉及的措施涵盖了坝基防渗墙、库岸防渗帷幕以及地下水排导系统这几项，它们能够对渗水、管涌以及土体软化等问题予以有效把控。排水与防渗相关措施不但能够使得滑坡以及塌陷的发展速度得到一定程度的减缓，而且还可以让泥石流发生的概率有所降低，进而为工程结构给予长期性的保护保障。与此综合监测数据以及地质分析情况，科学且合理地去对排水布置加以优化，同时也对防渗材料的选择做出优化调整，这无疑是在保证工程能够安全运行方面极为关键的一个环节所在。

4.3 地质灾害风险评估、预测预报与监测预警

地质灾害风险评估、预测预报以及监测预警这些方面，乃是达成工程动态管理并且实现主动防控的关键举措。仔细分析工程区域的地质状况、过往的历史灾害记录还有降雨情况以及水库蓄水的规律，如此一来便能够构建起风险分级的模型，进而明确指出那些高危区域以及潜在存在的灾害隐患^[3]。把遥感、地质雷达、孔隙水压力计还有变形监测设备等一系列的技术手段综合运用起来，便可以对滑坡、塌方、泥石流以及沉降这类灾害展开实时的监控操作。监测预警系统在灾害刚刚开始出现的时候就能够给出预报的相关信息，从而给施工管理以及应急调度给予决策方面的依据，促使灾害防控从原先的被动应对逐步转变为如今的主动防御模式。与此把风险评估所得到的结果融入到工程的设计方案、施工流程以及运行管理方案当中去，进而打造出一套科学且合理的防灾决策支持体系，这无疑是一项极为重要的保障工程能够长期处于安全状态的举措。

4.4 施工管理、应急处置与长效防控机制建设

施工管理、应急处置以及长效防控机制建设，对于保障水利水电工程在建设以及运行阶段的安全而言，有着极为重要的作用。在施工阶段当中，需要严格依照施工管理规范来执行各项事宜，要合理地去安排施工的具体顺序，同时也要妥善安排边坡开挖的方式方法，从而防止因为人为的扰动而致使边坡出现不稳定的状况。与此应当构建起较为完善的应急预案体系，要清楚明确各类灾害一旦发生之时所应采取的响应举措、人员疏散的具体路线以及应急物资的储备情况，以此来确保在突发事件发生之

际能够迅速且有效地加以处置。长效防控机制涵盖了制度化的管理方式、定期开展的检查与维护工作、针对地质灾害隐患所做的排查事项以及信息化管理系统的建设事宜，借助于持续不断地进行监控以及动态性的调整操作，进而达成对灾害风险进行长期把控的目标。综合地运用施工管理、应急处置以及长效机制建设等方面的相关举措，是能够切实有效地降低地质灾害给水利水电工程所带来的威胁的，从而促使工程得以安全地运行并实现可持续的管理状态。

5 结语

滑坡在水利水电工程里面属于最主要的地质灾害范畴，其发生的条件颇为复杂，所具有的破坏力也不容小觑，对于工程的安全状况、生态环境以及社会经济等方面均会产生相应的影响。本文通过对滑坡灾害的不同类型、形成原因以及影响机制展开分析，进而提出契合当地实际情况的多种综合防控举措，像工程加固方面的措施、排水防渗相关的办法、风险评估以及监测预警方面的做法，还有施

工管理以及应急处置等方面的举措，以此达成设计、施工与运行环节的闭环式管理状态。在未来，随着智能监测技术、数值模拟相关技术以及大数据技术不断向前发展，滑坡防控工作将会变得更加细致且更为智能化，从而为工程的安全稳固以及可持续运行给予有效的支撑保障。

[参考文献]

- [1]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.
- [2]李智,徐红梅.水利水电工程地质灾害问题防治方法研究[J].内蒙古水利,2025(3):25-27.
- [3]李洋.水利工程地质灾害防治技术研究[J].中国高科技术,2023(2):140-141.

作者简介：汪祥兆（1984.2—），男，湖南衡阳人，毕业于长沙理工大学，现就职于中国电建集团中南勘测设计研究有限公司，主要从事水利水电地质勘察，新能源工程地质勘察，参与多项相关领域工程勘察项目，具备扎实的专业理论与丰富的工程实践经验。