

水利枢纽工程大坝开挖施工方案

林椒

浙江省正邦水电建设有限公司

DOI: 10.12238/jpm.v5i12.7511

[摘要] 水利枢纽工程是国家基础设施建设的重要组成部分，其主要功能包括防洪、灌溉、发电、供水等，对社会经济的稳定发展起着至关重要的作用。大坝开挖作为水利工程的起始阶段，其科学性、合理性和安全性直接影响到整个工程的成败。因此，制定一套全面、严谨的大坝开挖施工方案至关重要。本文将深入探讨大坝开挖的各项关键技术，旨在为实际工程提供理论指导和实践参考。

[关键词] 水利枢纽工程；大坝开挖；防渗方案；施工技术

Construction Plan for Dam Excavation of Water Conservancy Hub Project

Lin Jiao

Zhejiang Zhengbang Hydropower Construction Co., Ltd.

[Abstract] Water conservancy hub projects are an important component of national infrastructure construction, with main functions including flood control, irrigation, power generation, water supply, etc. They play a crucial role in the stable development of the social economy. As the initial stage of hydraulic engineering, the scientific, rational, and safe nature of dam excavation directly affects the success or failure of the entire project. Therefore, it is crucial to develop a comprehensive and rigorous dam excavation construction plan. This article will delve into the key technologies of dam excavation, aiming to provide theoretical guidance and practical references for practical engineering.

[Key words] water conservancy hub project; Dam excavation; Anti-seepage plan; construction technique

1 相关概述

1.1 水利枢纽工程概述

水利枢纽是人类利用水资源，防洪减灾，保证供水安全的主要手段。而在施工初期，坝体的开挖直接关系到整体的稳定与经济效果。在三峡工程中，精准的基坑设计与建造，保证了地基的稳定，为以后的砼灌注及电站工程打下了良好的地基。在施工中，必须综合分析岩体强度、节理发育程度、地下水埋深等情况，才能保证施工的安全高效。

1.2 建坝的重要意义

大坝坝体施工是工程建设的物质出发点，是工程造价、工期和安全的重要组成部分。在工程实践中，基坑施工的好坏对坝体的防洪能力、地基承载能力和电站的发电能力都有很大的影响。同时，适当的基坑工程还能降低边坡滑移、控制地下水位变动等对周围环境产生的不良效应。所以，在进行工程设计时，一定要充分考虑到地质勘察资料、工程设计要求、环保等方面的因素，才能保证工程的顺利进行。

2 水利枢纽工程大坝开挖施工方案

2.1 工程背景

某大型水利枢纽工程位于浙江地区，其地层主要为泥页岩、花岗岩，并伴随着大量的地下水。本项目以大坝为高坝型，大坝高度200m左右，水库蓄水量为十亿立方以上，具有防洪、发电、供水等功能。该工程位于山地地区，工程用地有限，周

围的生态条件极为恶劣，对坝体的精确性及环境保护提出了更高的要求。因此，急需一种既能满足工程要求又能满足工程要求的高拱坝设计方案。



图1 施工现场图

2.2 地质勘察与分析

2.2.1 地质条件调查

水利枢纽工程大坝的地质状况研究，要求对其地层岩性、构造面、断裂及节理的发育状况等进行详细的研究。比如，在大部分岩层都是碎石块的情况下，为了保证水坝的稳定，就必须采取更细致的挖掘方式，比如多层或多层挖掘。另外，地下水及渗透系数是工程施工及坝体结构设计的关键，高或非稳态地下水会造成施工难度增加，甚至会降低坝体的防渗能力。以

往的一些项目，比如三峡水电站，都是在详细的勘察基础上，综合分析了地质情况；通过对这些复杂的地质问题的处理，保证了该项目的顺利实施。所以，工程的基础是勘察工程的基础，关系到工程的经济性、可行性及长期运营的安全性。

2.2.2 地质结构对开挖的影响

不同的地层构造会对不同的基坑支护方式和支护方式产生不同的影响。如岩体中的岩体，其岩体的力学性能一般都比较良好，但为了避免边坡失稳，必须对爆破工艺进行严格的控制。然而，由于泥页岩具有软弱、易于风化等特点，为了减小对斜坡的失稳，必须采取机械切削或预裂法。另外，在富水地区，为避免地下水影响施工及影响坝体的抗渗能力，还应在坝体内布置一套排水沟或干挖基坑。

2.3 施工前准备

2.3.1 设计方案制定

在水利枢纽工程项目中，最关键的问题是如何确定设计方案。它关系到整个项目的安全性，也关系到整个项目的进度和费用的控制。首先，我们要对该地区的工程进行详细的勘察，了解该地区的地质构造复杂程度、岩体稳定性及地下水埋深情况，从而选取最佳的施工方案。当工程中存在许多断裂或连接点时，为了保证坝体的稳定，就必须采取分段开挖与支护方法。在此基础上，采用现代工程理论和数值模拟方法，对施工过程中潜在的工程地质灾害危险性进行评价。同时，我们还将对环境保护进行综合考量。例如，采用低噪声、低震动的挖掘装置，降低对周围环境的冲击。在此基础上，根据可持续发展的理念，制订出一套有效的垃圾处置方案。

2.3.2 开挖设备与技术选择

在水利枢纽工程建设中，选用适当的机械及工艺是非常重要的。机械选型要综合考虑地质条件、工程规模和效益等因素。在坚硬的地层中，为了保证施工的高效与精确，必须使用高性能的钻孔机及爆炸爆破等工艺。对于软弱地层或土壤地层，采用钻孔机或水力冲击器可以较好地抑制施工对地层的干扰。

在工艺选取上，为了保证挖掘精度，在现代化的工程建设中经常使用 GPS 定位和自动挖掘方法。另外，从环保角度出发，采用静爆或精密控爆等方法，可以有效地降低噪声及振动对周围环境的冲击。以一座大型水库为例，利用三维模型及 BIM 等手段，对其进行了全过程的监测与预报；错误的发生率和重新设计的费用得到了很大的减少。

2.4 开挖施工工艺

2.4.1 初期开挖与降坡

水利枢纽工程作为水电项目的第一道工序，前期的挖掘和控制工作显得尤为重要。前期工作包括对工程现场进行预处理，清除表土、植被和不稳固岩体，为下一步精细化工作提供基础。在此过程中，为了保证坝体结构的精度，必须对开挖线上的位置进行准确的确定。以该工程为例，为确保坝体地基稳定，前期开挖精度达到了 cm 级。而降坡作为工程前期工作中的一个关键步骤，其目的在于通过对坡面进行合理的坡形设计，减少其失稳的危险性。这一步既要考虑地质条件，又要考虑气候因素，还要考虑到工程机械的基本原则，才能避免滑坡。为了保证边坡的稳定性，必须采取分段开挖和临时支护等措施。

2.4.2 爆破技术与安全管理

在水利枢纽工程大坝开挖过程中，爆破是一项十分重要的工作，可以有效地将大块的土石进行有效的破坏，从而加速了整个工程的进程。为了保证掘进面的形态与稳定，必须对炸药用量、炮孔布置和起爆次序进行准确的计算。以该工程为例，

在施工过程中采取了微差爆破工艺，并对爆破时间进行了准确的控制；减小了振动对周边岩石的冲击，使施工精度得到了较好的控制。但是，由于爆炸事故的发生，其安全隐患也十分突出，所以，对其进行安全管理就变得十分必要。这就需要对炸药工人进行严格的训练，保证他们具有相应的作业资格，并且熟悉相关的安全规范。在此基础上，还应制订和实施具体的爆炸安全方案，比如建立一个安全区域，保证在爆炸过程中无关的工作人员都要离开。另外，为了避免事故的发生，必须对爆破孔道进行检测，并对爆炸后剩余爆炸物进行检测。在工程实践中，利用离散元、有限元等数值计算手段，对爆破效应及围岩变形进行预报，从而对爆破方案进行优选，进而提升工程安全性。

2.4.3 土石方的运输与处理

在水利枢纽工程大坝基坑开挖过程中，土方的搬运和处置是一个非常重要的工作。它不但关系到建设的效益，而且关系到项目的造价和环保问题。一般情况下，因场地情况及项目大小，可选用自行卸车运输、皮带运输或液压运输等多种运输模式。以该水库为例，利用大型运输车搬运大型土方，每日可达几十万立方公尺，可有效保证施工进度。因此，在进行土方开挖过程中，必须充分考虑其对周围环境的影响。比如，合理的堆积方式可以降低对耕地的需求，降低对周围环境的影响。在此基础上，通过植被恢复植被，防治土壤侵蚀，达到与自然的协调发展。另外，对含有毒物料的土、石等材料，要达到环境保护要求，做到无害化，避免二次污染。土方开挖施工计划的制定，常常要借助土方平衡计算与优选的方法。该方法有助于设计人员对土方在全流程中的流量进行预估与控制，使土方在最少交通费用下得到最好的配置与使用。如经精密计算，可将坝体中的一小部分土、石作为填料，节约投资；同时也减轻了废物处置的难题。

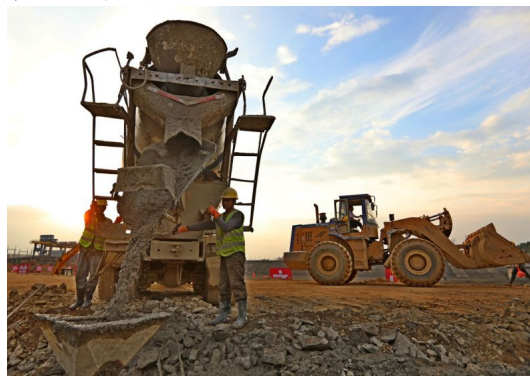


图2 土方开挖

2.5 特殊地质条件下的开挖

2.5.1 软弱地层处理

软土地基的治理是水利枢纽工程大坝施工中非常关键的一环。淤泥、粘土和风化物等软岩层具有低强度和高渗透性等特点，如果处置不当，易造成坝体失稳，严重时甚至会诱发工程事故。为了增强地基的承载力和抗渗性，工程人员经常采取地基加固、排水、加固等处理措施。比如，在软土地区，利用深搅拌、高压灌浆等方法，将固化材料或水泥浆灌注到软土地基中，从而达到改良地基的目的；以某水电站为例，经精细勘察及有限元计算，对百万 m³ 软土层实施了有效的补强，使坝体安全性得到明显改善；这就是我们所说的“未雨绸缪，未雨绸缪”的设计理念。

下转第 166 页

据中的异常波动,进而判断是否存在泄漏。

5. 精确泄漏定位与修复预测

人工智能精确的泄漏定位能力也是其一个重要的技术优势,传统的泄漏检测技术通常只能定位到泄漏的范围,而无法准确地标定泄漏的具体位置。借助AI,特别是深度学习与传感器融合技术,可以通过分析管网中的各类实时数据,精确到具体的泄漏点。通过传感器数据与地理信息系统(GIS)结合,人工智能可以建立更加精细的管网模型,进而实现精准定位。以声波传感器为例,AI可以根据管道内的声波传播速度与泄漏信号的特征,推算出泄漏的位置。同时,结合多点传感器的位置信息,AI可以通过时差法(TDOA)或者波形比对法进行精确定位。还能够结合历史数据、气候变化等因素,预测泄漏发生的可能性,并通过预测模型提前进行干预,优化管网的运行与维护计划。通过这种方式,供水公司可以在泄漏发生前做好应对准备,减少事故发生的频率与损失。

结语

随着城市供水系统的不断扩展和管网设施的老化,泄漏问

题已成为影响城市水资源管理和供水安全的重要挑战。传统的泄漏检测技术虽然在一定程度上缓解了问题,但其精度和效率仍存在不少局限。近年来,人工智能技术的飞速发展为一问题带来了全新的解决方案。通过结合传感器数据采集、机器学习、深度学习等技术,基于人工智能的供水管网泄漏检测系统能够实时、精准地识别和定位管网中的泄漏点,显著提高了检测的效率和准确性。未来,随着技术的不断进步和应用的深入,基于人工智能的泄漏检测技术将会在保障水资源安全、提高供水系统的智能化管理水平等方面发挥越来越重要的作用。

[参考文献]

- [1]宋扬.支持向量机在供水管网漏水探测中的数据分析及应用探究[J].城市勘测,2024,(04):101-104.
- [2]赵行义,张健,张俊杰.人工智能泄漏噪声技术在供水管网漏损治理中的应用研究[J].城乡建设,2022,(18):78-80.
- [3]胡鹏伟,刘璐,戴昭骞,叶蕾,林钰峰,尹浪,王星.基于Attention+LSTM的供水管网漏损识别方法[J].广东科技,2020,29(12):63-70.

上接第163页

2.5.2 含水层的处理与防渗

在水利枢纽工程中,地下水的治理和控制是水库大坝安全运行的关键。地下水是一种重要的地下水资源,它对水利枢纽工程的安全运行具有重要意义。为此,一般采用预排水、隔水帷幕及布置排水设施等措施对地下水进行有效的防治。如该工程施工中,应用了深层泵超前泄水工艺,使其达到了较好的降水效果;从而保证了工程的顺利进行,也保证了坝体施工的安全。在此基础上,采用数值计算与室内实验相结合的方法,对止水帷幕的厚度及材质进行了研究。在确保项目安全性的基础上,将对周围环境的冲击降到最低。在防渗工程中,通常采用混凝土防渗墙、土工膜防渗和灌浆防渗等工艺。灌浆技术是将灌浆技术应用到岩层内,在岩层内建立起一道连续的不渗透墙。黄河小浪底水电站采用灌浆加固措施,防止了地下水流的渗入,提高了坝体的整体稳定。在此基础上,采用三维有限元分析方法对其进行优化,以保证其经济高效。

2.5.3 岩石破碎与稳定性控制

在水利枢纽工程建设中,岩体的破碎和稳定是一个非常重要的步骤。一般采用爆破破碎、机械破碎或机械破碎三种方式进行破碎,应视具体情况及具体情况选用适当的破碎工艺。比如,对于坚硬的岩石,可以使用定向爆炸,但要准确地算出装药量和布置方法;在保证破碎效应的前提下,最大限度地降低对周边建筑物的影响。另外,部分工程还采用了新的水力粉碎装备,使粉碎强度、粉碎幅度更加准确,从而大大提高了工作

效率。对于滑坡的防治,必须对滑坡进行精细的地质力学研究,并对滑坡中的滑坡进行预报。在此基础上,利用三维数值计算方法,对各种条件下的坡体进行稳定仿真,从而得出最优的斜坡及支撑措施。

3 结论

总体而言,在水利枢纽工程大坝开挖过程中,从精准的爆破工艺、土方的搬运和处置,到特殊的地质情况下的深基坑施工;每个步骤都是极具挑战性和技巧性的。在施工过程中,既要有较高的技术水平,又要有较强的应变能力,以保证项目的安全、质量与进度。技术人员以科学的管理,先进的技术,严密的环境保护手段,使项目得以顺利完成,并使之与周围的环境协调一致。为此,对软土地基进行了加固,对含水岩层进行了防治,对岩体破裂后的稳定进行了治理;这些都是保证水利枢纽工大坝顺利修建的重要条件。要想保证水利枢纽工库的正常运营,保证水库的正常运转,为社会和经济的发展提供可靠的水源。

[参考文献]

- [1]王锦江,李明柱,范永等.盖下坝水电站坝肩开挖施工技术[J].东北水利水电,2015,33(09):16-17+29.
- [2]李凯,徐博,赵松等.某水库右坝肩高边坡稳定性分析与治理措施[J].水电站设计,2022,38(03):5-8+12.
- [3]白新华.分析水库工程坝肩防渗的设计要点[J].农村经济与科技,2021,32(08):45-47.