

水利工程基坑开挖施工技术研究

郝金龙 卢沼君

中国南水北调集团中线有限公司河南分公司 河南 郑州 450000

摘要：水利工程基坑开挖是工程建设的基石，其施工质量直接影响后续结构稳定与整体安全。当前，水利工程建设面临地质条件复杂、水文环境多变等挑战，传统开挖技术难以满足高效施工需求。本文聚焦水利工程基坑开挖，梳理其理论与技术基础，剖析前期勘察、施工准备要点，深入探讨开挖、支护、地下水控制等关键技术。结合实际案例，研究风险控制手段的应用，通过理论与实践结合提出优化思路，旨在为施工提供科学指导，提升施工效率与质量，推动水利工程高质量发展。

关键词：水利工程；基坑开挖；施工技术

引言：水利工程作为国家重要基础设施，在防洪、水资源调配、灌溉发电等方面发挥着不可替代的作用。基坑开挖作为水利施工的首要环节，为枢纽等核心构筑物的建设奠定基础，其施工技术水平直接影响工程的安全与寿命。近年来，随着水利工程向大型化、复杂化方向发展，基坑开挖面临的地质水文问题日益增多，部分工程因技术不当引发安全事故，造成工期延误与经济损失。因此，系统研究水利工程基坑开挖施工技术，优化施工流程与方案，对保障工程安全、提升经济效益具有重大现实意义。

1 水利工程基坑开挖相关理论与技术基础

1.1 基坑开挖的核心概念

基坑开挖是指在工程建设中，为建造地下结构或设施，在地面上开挖形成的具有一定深度和形状的坑穴。在水利工程中，基坑开挖通常是为了建设水闸、泵站、堤防基础等地下或半地下结构。基坑开挖不仅涉及到土方的挖掘和运输，还包括基坑边坡的稳定、地下水的控制以及周边环境的保护等多个方面。其核心目标是在满足工程设计要求的前提下，确保施工过程中的安全和稳定，同时尽量减少对周边环境的不利影响。例如，在水库大坝基础的基坑开挖中，需要严格控制开挖深度和边坡坡度，防止因开挖不当导致大坝基础失稳，影响水库的安全运行。

1.2 基坑开挖的理论支撑

基坑开挖的理论支撑主要包括土力学理论和岩土工程理论。土力学理论为基坑开挖提供了关于土的物理力学性质、土压力计算、边坡稳定性分析等方面的理论基础。例如，通过土的抗剪强度指标，可以计算基坑边坡的稳定性，确定合理的边坡坡度；根据土压力理论，可以设计合理的支护结构，确保基坑在开挖过程中的安

全。岩土工程理论则侧重于研究岩土体在工程作用下的变形和破坏规律，为基坑开挖的设计和施工提供指导^[1]。例如，在复杂地质条件下，通过岩土工程勘察和分析，可以了解地下岩土层的分布和性质，为选择合适的开挖方法和支护结构提供依据。

2 水利工程基坑开挖的技术特点

2.1 规模大，技术与设备要求高

水利工程作为国家基础设施建设的关键领域，往往具有规模宏大的显著特征，其基坑开挖的深度和面积也极为可观。以大型水库大坝基础为例，基坑开挖深度可能深达数十米，宛如在大地上挖掘出一个巨大的深坑；开挖面积可达数万平方米，相当于多个标准足球场的面积总和。如此大规模的开挖作业，对施工技术和设备提出了极为严苛的要求。普通的小型挖掘设备，在面对这样庞大的工程量时，往往显得力不从心，不仅效率低下，还可能无法保证施工质量和安全。因此，必须采用大型的挖掘设备，如大型挖掘机、装载机等，它们具备强大的动力和挖掘能力。同时，要运用先进的施工技术，如分层分段开挖、信息化施工等，通过实时监测和数据分析，及时调整施工参数，确保开挖工作能够高效、安全地推进，从而满足水利工程建设整体需求。

2.2 地质水文复杂，方法措施多样

水利工程基坑开挖所面临的地质条件和水文条件复杂且多变，这给施工带来了极大的挑战。在地质方面，存在着软土、岩石、砂土等不同类型，每种地质都有其独特的性质和特点。软土地质松软，承载力低，在开挖过程中，就像在松软的蛋糕上动工，极易发生变形和坍塌，需要采用特殊的支护措施，如钢板桩支护、深层搅拌桩支护等，以增强土体的稳定性。岩石则坚硬无比，开挖难度大，需要使用爆破、岩石破碎机等设备和工艺

进行破碎和挖掘。而在水文条件上,地下水位的高低和水流的变化会对基坑开挖产生显著影响。高地下水位可能导致基坑涌水,影响施工进度和安全;水流的变化可能引发土体冲刷和侵蚀。这就要求采取有效的地下水控制技术,如降水井降水、止水帷幕止水等,将地下水位控制在合理范围内,保障施工安全顺利进行。

2.3 环境影响大,保护措施必要

水利工程基坑开挖对周边环境的影响不容忽视,其施工活动可能会对周边建筑物、地下管线等的安全构成威胁。在基坑开挖过程中,土体的开挖和卸载会引起周边土体变形,就像在平静的湖面投入一颗石子,会产生涟漪效应,导致周边建筑物出现裂缝、倾斜甚至倒塌等严重后果^[2]。同时,地下水位的变化也可能影响地下管线的正常使用,如导致管道变形、破裂,影响供水、排水、通信等功能的正常发挥。因此,在基坑开挖前,必须充分考虑周边环境因素,进行详细的环境调查和评估。制定详细的保护方案,采取相应的保护措施,如设置监测点,实时监测周边建筑物的沉降、倾斜等情况;对周边建筑物进行加固处理,增强其抗变形能力;对地下管线进行保护和迁移等,确保周边环境的安全稳定,实现水利工程建设与环境保护的协调发展。

3 水利工程基坑开挖关键技术分析

3.1 基坑开挖前的准备工作

基坑开挖前的准备工作聚焦于现场条件优化与风险预判,为开挖施工顺利启动奠定基础。首先完成现场围挡与排水系统建设,采用砖砌或钢板围挡划分施工区域与非施工区域,围挡高度不低于1.8米,确保施工安全与现场整洁;在围挡外侧与基坑周边设置排水沟,在低洼处设置集水井,配备抽水设备,避免雨水与地表水流渗入基坑。其次进行基坑周边环境排查与保护,调查周边建筑物、地下管线、道路的分布情况,对邻近基坑的构筑物采取加固措施,如设置隔离桩或注浆加固;与管线产权单位沟通,明确管线位置与埋深,采用人工开挖方式暴露管线后进行保护或迁移。最后开展技术复核工作,复核施工测量控制网的精度,重新测设基坑开挖边线、坡顶线及标高控制点;再次组织技术交底会议,向施工班组详细说明开挖顺序、边坡控制要求、安全注意事项等,确保施工人员精准执行方案。

3.2 开挖方法与设备选择

开挖方法与设备选择需结合地质条件、基坑尺寸及施工要求,实现高效开挖与安全可控的平衡。软土地基基坑开挖优先采用分层分段开挖法,每层开挖深度控制在1.5-2米,分段长度根据支护施工速度确定,通常不

超过20米,采用液压挖掘机进行开挖,配合装载机与自卸汽车转运渣土,开挖过程中避免机械碾压基坑边坡,防止土体扰动。岩石基坑开挖根据岩体硬度选择方法,中硬岩石采用控制爆破法,通过精准设计炮孔间距、装药量与起爆顺序,减少爆破振动对周边环境的影响;坚硬岩石采用机械破碎法,使用液压破碎锤或岩石锯进行破碎后,再由挖掘机开挖。大型水利工程基坑开挖可采用多台机械联合作业,合理划分作业区域,设置机械进出通道,避免交叉作业干扰;同时配备小型挖掘机与人工班组,处理基坑边角、边坡修整等机械难以作业的区域,确保开挖精度。

3.3 支护结构类型与适用性

支护结构是保障基坑开挖安全的核心,需根据地质条件、基坑深度及周边环境选择合适类型,确保其具备足够的强度与稳定性。土钉墙支护适用于深度5-10米的软土地基或粉质黏土基坑,通过在基坑边坡植入土钉,喷射混凝土面层形成支护体系,具有施工简便、成本较低的优势,但其支护刚度有限,不适用于地下水丰富区域。排桩支护由钢筋混凝土灌注桩或钢板桩组成,适用于深度10-20米的深基坑,排桩之间采用旋喷桩或高压注浆形成止水帷幕,可有效阻挡土体与地下水,适用于软土、砂层等复杂地质,在水利枢纽基坑开挖中应用广泛。锚杆支护与地下连续墙结合的支护体系,适用于深度超过20米的超深基坑,地下连续墙作为挡土挡水结构,锚杆提供锚固力,增强支护体系的整体稳定性,适用于地质条件极差、周边环境复杂的大型水利工程^[3]。

3.4 地下水控制技术

地下水控制是水利工程基坑开挖施工的关键技术,核心目标是将地下水位控制在基坑开挖面以下,避免涌水、管涌等问题。井点降水技术适用于地下水位较高的砂层、粉土层基坑,包括轻型井点、喷射井点与深井井点,轻型井点适用于水位埋深较浅的浅基坑,通过布置直径50-75毫米的井点管,利用真空泵抽水降低水位;深井井点适用于水位埋深大的深基坑,采用直径300-500毫米的深井,配备深井泵抽水,降水深度可达20米以上。截水帷幕技术通过在基坑周边设置连续的止水结构,阻挡地下水流入基坑,常用方法包括高压旋喷桩、水泥土搅拌桩与地下连续墙,高压旋喷桩适用于砂层、黏土层,通过高压喷射水泥浆与土体混合形成止水帷幕;地下连续墙止水效果最佳,适用于地下水丰富、地质条件复杂的深基坑。对于基坑开挖过程中出现的局部涌水,采用沙袋封堵结合导流管排水的应急措施,待涌水控制后再采用注浆法加固处理。

4 基坑开挖施工中的风险控制与监测

4.1 施工风险识别与评估

施工风险识别与评估是实现风险前置控制的基础，需全面覆盖基坑开挖施工各环节。风险识别采用“现场排查+专家论证”的方式，重点识别四类风险：地质风险包括边坡失稳、土体坍塌、岩溶涌水，多由地质勘察不充分、开挖方式不当引发；技术风险包括支护结构变形、开挖尺寸偏差、地下水控制失效，与施工技术方案执行不到位相关；环境风险包括周边建筑物沉降、地下管线破坏、水体污染，因施工扰动或废水排放导致；安全风险包括机械伤害、高处坠落、触电事故，与施工安全管理缺失有关。风险评估采用定性定量相结合的方法，定性评估风险发生的可能性，定量评估风险造成的经济损失与安全影响，通过建立风险评估矩阵，划分风险等级，针对高等级风险制定专项防控措施，明确防控责任人与处置流程。

4.2 实时监测技术

实时监测技术通过对基坑及周边环境的动态监测，及时掌握施工过程中的变形与受力情况，为风险预警提供数据支撑。监测内容包括基坑自身监测与周边环境监测，基坑自身监测重点关注边坡位移、支护结构内力、基坑沉降，采用全站仪监测边坡顶部水平位移与竖向沉降，精度可达±1毫米；采用钢筋应力计监测支护结构内力，通过数据采集仪实时传输数据。周边环境监测包括邻近建筑物沉降、地下管线变形、地表裂缝，采用水准仪监测建筑物沉降，采用测斜仪监测地下管线变形，安排专人每日巡查地表裂缝，记录裂缝宽度与长度变化。监测频率根据施工进度调整，开挖阶段每12小时监测一次，支护施工阶段每24小时监测一次，当监测数据接近预警值时，加密监测频率至每6小时一次，确保及时捕捉风险隐患^[4]。

4.3 信息化施工与动态调整

信息化施工与动态调整通过整合监测数据与施工信

息，实现基坑开挖施工的精准管控。构建信息化施工管理平台，将实时监测数据、施工进度、机械运行状态等信息集成至平台，采用大数据分析技术对监测数据进行处理，建立数据与施工参数的关联模型，当监测数据超过预警阈值时，平台自动发出预警信号，推送至技术负责人与施工班组。基于预警信息与现场实际情况，进行施工方案动态调整，如边坡位移超标时，立即停止开挖作业，采取坡顶卸载、增设临时支护等措施；支护结构内力过大时，调整支护参数或加快支护施工进度。同时利用BIM技术构建基坑开挖三维模型，模拟施工过程中的应力与变形情况，提前预判可能出现的问题，优化施工方案。信息化施工实现了“监测-分析-预警-调整”的闭环管理，提升了施工风险防控的及时性与有效性。

结束语

水利工程基坑开挖施工技术的科学性与适用性，是保障工程建设安全与效益的关键。本文研究表明，基坑开挖施工需以完善的理论为支撑，扎实做好前期勘察与准备工作，依据地质水文条件精准选择开挖方法、支护结构及地下水控制技术。当前，水利工程基坑开挖施工正朝着智能化、绿色化方向发展，BIM和数字孪生技术可提升施工精准度，环保设备与渣土利用技术有利于生态保护。未来，需进一步强化复杂地质条件下的施工技术研究，完善相关标准体系，为水利工程建设提供坚实的技术支撑，推动水利事业高质量发展。

参考文献

- [1]林强,胡义杰.水利工程基坑开挖施工技术研究[J].建材与装饰, 2025, 21(1):160-162.
- [2]魏健.水利工程施工深基坑开挖与支护技术优化研究[J].城镇建设, 2025(6): 206-208.
- [3]于靠山,王立滨,张志勇.水利工程深基坑开挖技术与安全控制措施研究[J].水上安全,2025(9):143-145.
- [4]陈峰,刘会连.水利工程土石方开挖施工技术应用研究[J].门窗, 2025(11): 214-216.