

水利工程中深基坑开挖支护技术的创新与实践

李 福

淄博齐龙水利建筑工程有限公司 山东 淄博 255318

摘 要：深基坑开挖支护技术是水利工程建设的关键环节，直接影响工程质量与安全。新型支护材料的研发应用提升了结构耐久性与承载能力，施工工艺的创新增强了施工效率与稳定性，智能监测技术的融合实现了风险实时预警，绿色环保技术的发展契合可持续发展需求。通过多类型水利工程实践案例分析，验证了创新技术在复杂地质条件下的可行性与可靠性，为同类工程提供技术参考与经验借鉴。

关键词：水利工程；深基坑开挖；支护技术；创新；实践

引言：在水利工程建设中，深基坑开挖支护技术的优劣关乎工程整体成败。随着水利工程规模扩大与地质条件复杂化，传统技术逐渐难以满足工程需求。新型支护材料、创新施工工艺、智能监测技术及绿色环保技术的引入，为深基坑工程带来新的发展方向。本文结合多个典型水利工程案例，深入探讨深基坑开挖支护技术的创新成果及其在实际工程中的应用效果，旨在推动该技术进一步优化升级。

1 深基坑开挖支护技术概述

深基坑开挖支护技术作为现代地下空间开发建设的关键技术，旨在确保基坑工程施工过程中土体的稳定性与周边环境安全，有效控制土体变形。随着城市建设向空间立体化发展，高层建筑、地下轨道交通、综合管廊等工程不断涌现，深基坑的规模与深度持续增加，对开挖支护技术提出更高要求。深基坑开挖支护技术通过合理设计支护结构，抵御基坑侧壁土体的侧向压力、地下水压力以及施工荷载。支护结构类型多样，包括排桩支护、地下连续墙、水泥土搅拌桩墙、土钉墙等，每种结构都有其独特的力学性能与适用条件。排桩支护常采用钻孔灌注桩、挖孔灌注桩等，通过桩体的刚性抵抗土体侧压力，适用于各类土质条件；地下连续墙以其良好的防渗性和整体性，在软土地区及对变形控制要求严格的工程中广泛应用；水泥土搅拌桩墙利用水泥作为固化剂，通过搅拌机械将软土与固化剂强制拌和，形成具有一定强度和整体性的水泥土桩体，起到挡土和止水作用；土钉墙则依靠土钉与土体间的相互作用，使土体自身形成稳定结构，适用于地下水位以上的黏性土、砂土等。在深基坑开挖过程中，土方开挖方式与支护施工的协同作业至关重要。分层分段开挖、及时支撑是控制基坑变形的重要原则，土方开挖顺序与速度需与支护结构施工紧密配合，以减少土体卸载对基坑稳定性的影响。

基坑监测贯穿于整个施工过程，通过对支护结构位移、沉降、土体深层水平位移、地下水位变化等参数的实时监测，及时掌握基坑及周边环境的变形情况，为施工决策提供数据支持，确保深基坑工程安全、高效地推进。

2 水利工程中深基坑开挖支护技术的创新

2.1 新型支护材料的应用

在水利工程深基坑开挖支护领域，新型支护材料的研发与应用正重塑着传统施工格局。超高性能混凝土（UHPC）凭借其超高抗压强度、优异耐久性及良好韧性，成为深基坑支护结构的理想选择。其抗压强度可达150MPa以上，弹性模量高，能有效降低支护结构的变形量，显著提升基坑整体稳定性。相较于普通混凝土，UHPC的抗渗性能提高数十倍，在地下水位高、水压大的水利工程环境中，可有效抵御地下水侵蚀，延长支护结构使用寿命。纤维增强复合材料（FRP）以其轻质高强、耐腐蚀的特性，为深基坑支护开辟了新路径。碳纤维增强复合材料（CFRP）的抗拉强度是钢材的数倍，且密度仅为钢材的四分之一，大幅减轻支护结构自重，降低对周边土体的附加荷载。在复杂地质条件下，FRP材料不受酸碱环境及氯离子侵蚀影响，特别适用于沿海、沼泽等腐蚀性强的水利工程。新型高分子聚合物注浆材料的应用，可实现对土体的精准加固。该材料具有良好的流动性与渗透性，能快速填充土体孔隙，形成高强度的固结体，增强土体的抗剪强度与承载能力，有效控制基坑变形^[1]。

2.2 施工工艺的创新

深基坑开挖支护施工工艺的创新是提升施工效率与质量的关键。逆作法施工工艺在水利工程中得到广泛应用，该工艺以先施工地下结构的梁板作为水平支撑，自上而下分层开挖与施工，有效利用地下结构的空间刚度，减少对临时支撑的依赖，降低工程造价。逆作法施工可实现地上、地下同步施工，缩短整体工期，特别适

用于城市内或场地受限的水利工程。旋挖咬合桩工艺通过旋挖钻机成孔,使相邻桩体相互咬合形成连续的挡土止水帷幕。该工艺成孔速度快、垂直度高,能在多种复杂地质条件下施工,如砂卵石层、软土地层等。咬合桩采用全钢套管跟进技术,有效防止塌孔,保证成桩质量,止水效果显著。装配式支护结构施工工艺将工厂预制的标准化支护构件运至现场装配,通过高强螺栓或焊接等方式快速连接,减少现场湿作业,提高施工效率。装配式构件精度高、质量稳定,可实现支护结构的快速拆卸与重复利用,降低施工成本与资源消耗。

2.3 智能监测技术的融合

智能监测技术的融合为深基坑施工安全提供了可靠保障。基于物联网(IoT)技术的实时监测系统,通过在支护结构与周边环境布设大量传感器,如应变计、位移计、水位计等,实现对基坑变形、应力、地下水位等参数的实时采集与传输。这些传感器与无线通信模块集成,数据可直接上传至云端服务器,利用大数据分析 with 云计算技术,快速处理海量监测数据,及时发现潜在安全隐患。三维激光扫描技术在深基坑监测中发挥重要作用,通过对基坑及周边环境进行快速扫描,获取高精度的三维点云数据,构建基坑的三维模型。该技术可实现对基坑变形的全方位、非接触式监测,精确捕捉细微变形,及时发现支护结构的异常情况。人工智能(AI)与机器学习算法的应用,可对监测数据进行深度分析与预测,建立基坑变形的预测模型,提前预警潜在风险,为施工决策提供科学依据。BIM(建筑信息模型)技术与智能监测系统的结合,实现了监测数据与三维模型的实时交互,使施工管理人员能够直观地掌握基坑的安全状态,提高施工管理的智能化水平^[2]。

2.4 绿色环保技术的发展

在水利工程深基坑开挖支护施工中,绿色环保技术的发展成为行业重要趋势。基坑降水回收利用技术通过对基坑抽出的地下水进行处理,使其达到回用标准,用于施工现场的洒水降尘、混凝土养护等环节,减少水资源浪费。采用真空井点降水与回灌相结合的技术,在保证基坑干作业施工的同时,将抽出的地下水回灌至地下含水层,维持地下水位稳定,减少因降水引起的地面沉降及周边环境的影响。废弃泥浆处理技术的创新有效解决了传统泥浆排放带来的环境污染问题。新型泥浆分离设备采用机械离心分离与化学絮凝相结合的方式,将废弃泥浆中的固相颗粒与液相分离,固相经脱水处理后可用于路基填筑或制砖等,液相经净化处理后达标排放或回用。绿色支护结构的研发与应用,如采用可降解材料制

作的临时支护构件,在完成支护使命后可自然降解,减少固体废弃物的产生。在施工过程中,采用低噪音、低振动的施工设备与工艺,降低施工对周边环境的噪声与振动污染,实现水利工程深基坑施工的绿色可持续发展。

3 水利工程中深基坑开挖支护技术的实践分析

3.1 某水库大坝加固工程深基坑实践

(1)某水库大坝加固工程深基坑开挖深度达12m,基坑面积约3000m²,地质条件复杂,上部为松散砂土层,下部为风化岩。基坑周边存在老坝体结构,对变形控制要求极高,需确保开挖及支护过程中不影响原有坝体稳定性。(2)基于工程特点,采用排桩-锚索支护体系。灌注桩直径1.2m,间距1.5m,嵌入中风化岩深度4m,形成坚固的挡土结构;锚索采用高强度低松弛钢绞线,长度根据不同工况设置在15-25m,以提供可靠的锚固力。在施工中,运用旋挖钻机进行灌注桩成孔,有效减少对周边土体的扰动;锚索施工严格控制钻孔角度与注浆压力,保证锚固质量。(3)基坑开挖过程采用分层分段开挖,每层开挖深度不超2m,每段长度控制在20m以内,且开挖后及时支护。实时监测显示,基坑最大水平位移仅18mm,未超预警值,周边老坝体沉降控制在5mm以内,有力保障了工程安全,为大坝加固后续施工创造良好条件,该支护技术适用性与可靠性良好。

3.2 某河道整治工程深基坑实践

(1)某河道整治工程深基坑位于河道主槽内,开挖深度8m,长度达200m,宽度30m,施工期需跨越雨季,地下水位高且受河道水体影响显著。基坑土质主要为淤泥质黏土,具有高压缩性、低强度等特性,极易产生侧向变形。(2)针对工程特性,选用SMW工法桩结合内支撑的支护方案。SMW工法桩采用三轴搅拌桩,桩径850mm,桩间距600mm,内插H型钢,型钢型号为HN700×300,增强支护结构的强度与刚度。内支撑采用φ609钢管,水平间距6m,竖向设置3道,形成稳定的支撑体系。施工时,三轴搅拌桩采用两喷三搅工艺,确保水泥土搅拌均匀;H型钢插入严格控制垂直度与深度,保证支护效果。(3)在开挖过程中,采用阶梯式分层开挖,每层开挖高度1.5-2m,及时施作内支撑并施加预应力。通过严密的降水措施,将地下水位降至基坑底以下1m。整个施工过程中,基坑侧壁变形得到有效控制,最大水平位移为22mm,未出现渗漏水现象,保障了河道整治工程顺利推进,成功解决了软土地基与高水位环境下深基坑支护难题^[3]。

3.3 某水电站引水隧洞进口深基坑实践

(1)某水电站引水隧洞进口深基坑开挖深度达15m,

形状不规则,紧邻山体边坡,地质条件为强风化至中风化花岗岩,局部存在破碎带。基坑开挖需为引水隧洞进口段施工创造空间,同时要防止山体滑坡对基坑及施工安全造成威胁。(2)综合考虑后,采用锚杆框架梁结合挂网喷射混凝土的支护技术。锚杆长度根据岩层情况设置在6-12m,采用全长粘结型锚杆,钻孔直径130mm,间距2×2m;框架梁截面尺寸为400×600mm,C30混凝土浇筑。挂网钢筋采用φ6钢筋,网格间距200×200mm,喷射混凝土厚度100mm。施工中,锚杆钻孔严格按设计角度钻进,确保锚固效果;框架梁钢筋绑扎与混凝土浇筑保证结构整体性。(3)基坑开挖采用分层爆破开挖,每层开挖深度3-4m,爆破后及时进行锚杆、挂网喷混凝土施工。通过对山体边坡与基坑的实时监测,山体边坡位移稳定,基坑侧壁变形控制在较小范围内,最大水平位移25mm,有效保障了引水隧洞进口施工安全,为后续隧洞开挖与衬砌施工奠定坚实基础。

3.4 某沿海堤防加固工程深基坑实践

(1)某沿海堤防加固工程深基坑位于潮间带区域,开挖深度10m,受潮水涨落影响大,地质条件以粉细砂层为主,渗透性强,易发生流砂、管涌等现象。基坑周边环境复杂,临近既有堤防和海堤道路,对变形控制要求严格。(2)采用地下连续墙结合预应力鱼腹梁内支撑的支护形式。地下连续墙厚度800mm,深度25m,采用液压抓斗成槽机成槽,水下混凝土浇筑,形成封闭的止水挡土结构。预应力鱼腹梁内支撑由鱼腹梁、对撑、牛腿等组成,通过施加预应力提高支撑体系的整体刚度。施工中,严格控制地下连续墙成槽垂直度与清孔质量,确

保墙体防渗性能;鱼腹梁内支撑安装精确控制预应力施加值。(3)基坑开挖采用分层分段跳仓法,每层开挖深度2m,每段长度15m,开挖后及时安装内支撑并施加预应力。结合有效的降水与防渗措施,设置轻型井点降水系统降低地下水位。施工过程中,基坑变形得到良好控制,最大水平位移15mm,未出现渗漏水与流砂现象,保障了沿海堤防加固工程顺利实施,验证了该支护技术在复杂海洋环境下的有效性^[4]。

结语

综上所述,水利工程深基坑开挖支护技术在材料、工艺、监测及环保等方面的创新,显著提升了工程的安全性、经济性与环保性。通过水库大坝加固、河道整治等不同类型的工程实践,验证了创新技术的有效性与适应性。然而,面对复杂多变的地质与水文条件,相关技术仍需持续探索改进。未来,应加强多学科融合与新技术研发,进一步完善深基坑开挖支护技术体系,为水利工程高质量建设提供坚实保障。

参考文献

- [1]焦伟.水利工程深基坑开挖与支护施工技术要点分析[J].汽车博览,2023(10):148-150.
- [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]范成鹏.水利工程砂卵石地层深基坑开挖支护技术的研究[J].数字化用户,2025(7):130-132.
- [4]谢贞博.水利水电工程泵站深基坑的开挖及支护措施[J].城镇建设,2022(9):154-156.