

# 复杂地质条件下水利工程基坑支护施工难点与应对措施

张兆庆

青田县水利局 浙江 丽水 323900

**摘要:** 水利工程基坑支护是工程施工的核心环节,其质量直接决定工程整体稳定性与安全性。复杂地质条件下,基坑支护面临多重挑战,给施工带来极大难度。本文明确复杂地质条件的界定标准与水利工程基坑支护的核心要求,剖析二者内在关联;深入探究了支护结构选型设计、地下水控制、施工工艺设备及监测应急管理核心难点;因此,针对性提出优化设计、地下水控制技术、工艺设备创新、信息化监测及绿色施工等应对措施。通过系统分析与研究,为复杂地质条件下水利工程基坑支护施工提供科学参考,助力提升施工质量与效率,保障工程顺利推进,推动水利工程建设行业高质量发展。

**关键词:** 复杂地质;水利工程;基坑支护;施工难点

引言:水利工程作为国民经济发展的重要基础设施,对防洪、灌溉、供水等具有不可替代的作用。基坑支护是水利工程施工的基础前提,承担着保障基坑周边环境稳定、防止坍塌等关键职责。近年来,随着水利工程建设规模扩大与建设难度提升,复杂地质条件下基坑支护施工问题愈发突出,频繁出现支护结构失稳、地下水渗漏等安全隐患,不仅影响施工进度,还造成巨大经济损失。因此,深入研究复杂地质条件下水利工程基坑支护施工难点及应对措施,具有重要的现实意义与工程价值,可为相关工程施工提供可靠技术支撑。

## 1 复杂地质条件的界定与水利工程基坑支护概述

### 1.1 复杂地质条件的界定

复杂地质条件指因地质构造、岩土层性质、水文地质等因素影响,给工程施工带来较大风险与难度的地质环境。其界定需综合多方面指标:岩土层方面,包含软土、膨胀土、湿陷性黄土、风化岩层、断层破碎带等特殊岩土层,此类土层承载力低、稳定性差,易发生变形或坍塌;地质构造方面,存在断层、褶皱、节理密集等情况,会破坏岩土层完整性,增加施工不确定性;水文地质方面,地下水丰富、水位较高,或存在承压水、裂隙水等,易引发渗漏、涌水等问题;此外,周边存在重要建筑物、地下管线等敏感设施,施工需严格控制变形的地质环境,也属复杂地质范畴。不同区域地质条件差异大,界定需结合具体工程场地勘察结果,精准判断地质复杂程度,为后续施工提供依据。

### 1.2 水利工程基坑支护的核心要求

水利工程基坑支护核心要求围绕安全性、稳定性、适用性及经济性展开。安全性是首要要求,支护结构需具备足够承载力,能有效抵御基坑周边土压力、水压力

等荷载,防止出现坍塌、滑移等安全事故,保障施工人员与设备安全。稳定性要求支护结构及周边土体在施工全过程保持稳定,控制变形量在允许范围内,避免因基坑变形导致周边建筑物、道路、地下管线等设施受损。适用性要求支护方案结合工程地质条件、基坑深度、施工环境等实际情况,满足水利工程施工需求,为基坑内作业创造安全可行的空间。经济性要求在保障安全与质量的前提下,优化支护方案,合理选用材料与工艺,降低施工成本<sup>[1]</sup>。同时,水利工程多临近水源,支护结构还需具备良好的防渗性能,防止地下水渗漏影响工程施工及周边水环境。

### 1.3 复杂地质与水利基坑支护的关联性分析

复杂地质条件与水利基坑支护存在紧密关联,直接决定支护方案的设计方向、施工难度及工程风险。复杂地质下,岩土层物理力学性质不稳定,给支护结构选型与设计带来极大挑战,若设计方案未充分适配地质条件,易导致支护结构失稳。水文地质复杂时,地下水控制难度增加,渗漏、涌水等问题会直接影响基坑稳定性,甚至引发安全事故。另外,复杂地质往往需要特殊施工工艺与设备,施工周期延长、成本增加,同时监测难度提升,需精准掌握基坑及周边环境变形情况。反之,科学合理的基坑支护方案能有效应对复杂地质带来的风险,保障水利工程施工顺利推进,二者相互影响、相互制约。

## 2 复杂地质条件下水利工程基坑支护施工核心难点

### 2.1 支护结构选型与设计难点

复杂地质条件下,支护结构选型与设计面临诸多难点。一方面,复杂地质岩土层种类多样、性质差异大,同一基坑不同区域地质条件可能截然不同,如部分区

域为软土、部分为风化岩层,导致单一支护结构难以适配全域地质需求,选型难度极大。另一方面,地质勘察存在局限性,受勘察技术、设备及场地条件限制,难以全面精准掌握地下岩土层分布、地质构造及水文地质情况,设计依据存在偏差,易导致支护结构设计参数不合理。同时,复杂地质下荷载计算难度增加,土压力、水压力等荷载受地质条件影响呈现动态变化,传统计算方法难以精准核算,可能造成支护结构强度不足或过度设计。此外,水利工程基坑多临近水源,需兼顾支护与防渗需求,进一步增加了设计复杂度,若防渗设计不到位,易引发地下水渗漏问题<sup>[2]</sup>。

## 2.2 地下水控制难点

地下水控制是复杂地质条件下水利工程基坑支护施工的核心难点之一。复杂地质水文条件多样,可能存在潜水、承压水、裂隙水等多种地下水类型,且地下水水位高、水量大,补给来源复杂,给降水、截水、止水工作带来极大挑战。采用降水措施时,若降水方案不合理,可能导致基坑周边地面沉降,引发周边建筑物、地下管线开裂等问题;尤其在软土地区,降水易造成土体固结变形,影响周边环境稳定。截水与止水方面,复杂地质下岩土层渗透性差异大,断层破碎带、裂隙等区域易形成渗漏通道,传统止水帷幕难以实现全封闭止水,易出现涌水、流沙等现象。部分区域地下水含有腐蚀性物质,会侵蚀支护结构与施工设备,降低工程耐久性。

## 2.3 施工工艺与设备限制

复杂地质条件对施工工艺与设备提出更高要求,同时也带来诸多限制。施工工艺方面,复杂地质下传统施工工艺难以满足需求,如在硬岩地质区域进行支护桩施工时,钻孔难度大、效率低;在软土区域进行土方开挖与支护施工时,易出现土体坍塌,需采用特殊工艺,但特殊工艺操作复杂、对施工人员技术要求高,且施工周期长。设备方面,现有施工设备适配性不足,如针对大粒径卵石层的钻孔设备、针对深基坑的支护设备匮乏,导致施工效率低下;部分复杂地质区域施工场地受限,大型施工设备难以进场,进一步制约施工开展。另外,复杂地质下施工工序衔接难度大,某一工序出现问题易引发连锁反应,影响整体施工进度与质量。

## 2.4 监测与应急管理难点

复杂地质条件下,基坑支护施工监测与应急管理难度显著增加。监测方面,复杂地质下基坑及周边环境变形机理复杂,变形速率快、影响范围广,需监测的指标多,包括基坑边坡位移、沉降、支护结构内力、地下水位等。但受地质条件影响,监测点布设受限,部分区域

难以布设监测设备;同时,复杂环境下监测数据易受干扰,精准度难以保障,难以实时全面掌握基坑稳定性状态。应急管理方面,复杂地质下基坑施工风险点多且隐蔽,可能突发坍塌、涌水、流沙等安全事故,事故发生突然、发展迅速。现有应急预案往往针对性不足,难以覆盖所有突发情况;且应急物资储备、应急队伍建设难以适配复杂地质下的应急需求,事故处置难度大,易造成损失扩大。

## 3 复杂地质条件下水利工程基坑支护施工应对措施

### 3.1 支护结构优化设计

针对复杂地质条件,需从多方面优化支护结构设计。首先,强化地质勘察工作,采用先进勘察技术与设备,扩大勘察范围、增加勘察点位,结合物探、钻探等多种方式,精准掌握岩土层分布、地质构造及水文地质情况,为设计提供可靠依据。其次,采用个性化选型方案,结合基坑不同区域地质条件,选用组合式支护结构,如软土区域采用排桩+锚索支护,硬岩区域采用喷锚支护,实现不同地质区域的精准适配。同时,优化设计计算方法,引入数值模拟技术,结合现场实际地质情况,精准计算土压力、水压力等荷载,合理确定支护结构参数,避免强度不足或过度设计<sup>[3]</sup>。另外,加强支护与防渗一体化设计,采用止水帷幕+支护桩的组合形式,提升防渗效果,保障基坑稳定性。

### 3.2 地下水控制技术

在复杂地质水文条件下,地下水控制需采用多元化技术协同作用。针对地下水丰富、水位高的区域,需构建“降水+截水+止水”三位一体控制体系。降水环节优先选用轻型井点、管井井点等方式,结合地质勘察数据合理布设井点间距与深度,通过变频控制设备调节降水速率,避免因降水过快引发周边地面不均匀沉降。在基坑周边设置止水帷幕时,针对软土层采用高压旋喷桩工艺,通过高压喷射水泥浆液与土体混合形成防渗墙;对于岩层断裂带等高渗漏风险区域,需增加帷幕厚度至1.5倍设计值或采用“旋喷桩+摆喷桩”双重帷幕结构,确保全封闭止水效果。承压水发育区域则需布设减压井,通过抽排降低承压水头压力,防止基坑底板突涌,同时设置回灌井平衡周边水位,减少对环境的影响。此外,建立地下水动态监测网络,在基坑内外布设水位观测孔,实时采集数据并联动降水系统自动调整运行参数。对于含腐蚀性地下水的区域,需在支护结构表面涂刷环氧树脂等防腐涂层,并采用耐腐蚀钢筋材料,延长结构使用寿命。

### 3.3 施工工艺与设备创新

复杂地质条件下的施工工艺创新需聚焦地质适应性提升。硬岩区域采用“爆破预裂+机械跟进”组合工艺，先通过控制爆破形成初始裂隙，再使用大扭矩钻机进行精准钻孔，效率较传统工艺提升40%以上；软土层施工则推行“分层开挖-动态支护”模式，每层开挖深度控制在1.5米内，同步施作钢支撑或喷锚支护，并通过位移监测数据实时调整开挖节奏。预制装配式支护技术通过工厂化生产标准化构件（如预制桩、模块化挡墙），现场采用机械吊装拼接，可缩短工期30%且减少现场湿作业污染。设备创新方面，研发适配复杂地质的专用装备：针对狭小场地开发微型履带式钻机，机身宽度不足1米，可灵活穿梭于建筑物间；引入智能钻进系统，通过传感器实时监测钻压、转速等参数，自动优化钻进轨迹；推广多功能起重机，集成吊装、打桩、破碎等功能，减少设备频繁调运<sup>[4]</sup>。同时，建立施工工序数字化管控平台，通过BIM模型模拟工序衔接，制定标准化作业指导书，并利用AR技术对操作人员进行三维可视化培训，确保专项工艺精准实施。

### 3.4 信息化监测与应急管理

信息化监测体系构建需实现全要素覆盖与智能预警。在基坑边坡布设测斜仪、土压力盒，支护结构安装应变计、钢筋计，周边建筑物设置沉降标，地下管线安装位移传感器，地下水位观测孔配置自动记录仪，形成“空-地-下”立体监测网络。采用物联网技术将各类传感器数据传输至云端平台，通过大数据分析建立变形预测模型，设定三级预警阈值（黄色预警、橙色预警、红色预警）。当监测数据异常时，系统自动推送报警信息至管理人员手机APP，并生成处置建议。应急管理方面，编制“地质灾害类型-响应级别-处置措施”三维应急预案，针对坍塌、涌水、管涌等事故制定专项处置流程，明确疏散路线、救援设备调用顺序及医疗救护联动机制。现场配备移动式应急仓库，储备液压支撑套组、高分子注浆材料、便携式发电机等关键物资，并定期组织实战化演练。建立“135”快速响应机制（1分钟接警、3分钟调度、5分钟到场），与消防、医疗等单位建立应急联动协议，确保事故发生后30分钟内形成有效救援力量，最大

限度降低损失。

### 3.5 绿色施工与环保措施

复杂地质条件下，需同步落实绿色施工与环保措施。施工前，对施工区域周边环境进行调查，制定专项环保方案，避免施工破坏周边植被、水体等生态环境。施工过程中，加强扬尘控制，对施工场地、运输道路进行洒水降尘，采用密闭式运输车辆，防止扬尘污染；对施工废水进行处理，设置沉淀池、过滤池等处理设施，处理达标后再排放，避免污染周边水体。合理安排施工时间，减少施工噪音对周边居民的影响；对施工废弃物进行分类处理，可回收废弃物进行回收利用，不可回收废弃物运往指定地点处置，避免土壤污染。施工完成后，及时对施工场地进行生态修复，恢复植被覆盖，减少对周边生态环境的长期影响。

### 结束语

复杂地质条件下水利工程基坑支护施工难度大、风险高，其施工质量直接关乎水利工程整体安全与使用寿命。本文通过分析复杂地质条件的界定、水利工程基坑支护核心要求及二者关联性，明确了支护结构选型设计、地下水控制、施工工艺设备及监测应急管理为核心难点，并针对性提出优化设计、多元化地下水控制、工艺设备创新、信息化监测及绿色施工等应对措施。未来，还需进一步加强复杂地质施工技术研发，推动智能化、绿色化技术在基坑支护施工中的应用，为我国水利工程建设事业的高质量发展提供更坚实的技术保障。

### 参考文献

- [1]田光辉.复杂地质条件下水利工程高水位深基坑降水施工方法研究[J].价值工程,2024,43(26):67-70.
- [2]张全荣.复杂地质区水利工程施工地基处理灌浆技术[J].科技资讯,2024,22(13):138-140.
- [3]张金兰.大型水利工程中复杂地质条件下的施工技术挑战与解决方案[J].散装水泥,2025(1):112-114.
- [4]李玉梅.水利工程施工中复杂地质条件下的风险管控与技术优化[J].中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术,2025(2):103-106.