

复杂地质下土木基坑支护与边坡防护技术应用

张建龙 李 明

陕西煤业化工建设（集团）有限公司路桥分公司 陕西 西安 710021

摘 要：本文针对复杂地质条件下基坑支护与边坡防护的技术需求，系统论述了四类基坑支护技术与四类边坡防护技术的原理及应用。基坑支护方面，分析了土钉墙、排桩、地下连续墙、钢板桩技术在软土、破碎岩、岩溶等地质条件下的适用性与施工控制要点；边坡防护方面，阐述了喷锚、格构、挡土墙、植被防护技术的结构特征与实施要求。研究表明，依据地质特征科学选型、严格把控施工质量，可有效提升基坑与边坡的稳定性，降低工程风险，保障复杂地质条件下岩土工程的安全与质量。

关键词：复杂地质；基坑支护；边坡防护；施工技术；应用

引言：复杂地质条件下基坑开挖与边坡工程面临岩土体性质不均、地质构造复杂、地下水分布不规则等多重挑战，支护与防护难度显著增大。支护方案选型不当或施工质量控制不严，极易引发基坑坍塌、边坡失稳等安全事故。本文围绕复杂地质的核心特征，系统分析土钉墙、排桩、地下连续墙、钢板桩等基坑支护技术及喷锚、格构、挡土墙、植被防护等边坡防护技术的原理、适用条件与施工要点，旨在为复杂地质条件下基坑与边坡工程的支护选型与施工管理提供技术参考。

1 复杂地质的核心特征及对基坑与边坡的影响

复杂地质是指地质构造复杂、岩土体性质不均、存在不良地质现象或特殊地质条件的区域，其类型多样，核心特征存在显著差异，对基坑支护与边坡防护的影响也各不相同。从工程实践来看，复杂地质的核心特征主要体现在岩土体性质、地质构造及地下水分布三个方面，三者相互作用，共同决定了基坑与边坡的稳定性，也决定了支护与防护技术的选型方向。（1）岩土体性质是复杂地质影响基坑与边坡稳定性的核心因素，不同类型岩土体的物理力学性质差异较大：软土具有含水量高、孔隙比大、压缩性强、抗剪强度低的特点，在基坑开挖过程中易发生沉降、隆起或侧壁坍塌，且变形速率快，对支护结构的承载能力和变形控制要求极高；（2）破碎岩岩土体结构松散，完整性差，岩土颗粒间联结力弱，易发生掉块、坍塌，无论是基坑侧壁还是边坡，都需要加强支护与防护，防止岩土体流失；（3）岩溶地质存在溶洞、溶蚀裂隙等地质缺陷，岩土体完整性遭到破坏，且可能存在地下水富集现象，易导致基坑突水、边坡失稳；高陡岩层边坡岩土体受力复杂，自身稳定性差，易发生崩塌、滑坡等地质灾害，对防护技术的抗冲击能力和稳定性要求较高^[1]。

2 复杂地质下基坑支护技术应用

2.1 土钉墙支护技术

土钉墙支护技术是通过在基坑侧壁岩土体中植入土钉，将岩土体与土钉形成一个整体，利用土钉的抗拔力和岩土体的摩擦力，共同抵御基坑侧壁的侧向压力，控制基坑变形，适用于软土、破碎岩等地质条件下的中浅层基坑支护。该技术的核心原理是通过土钉的锚固作用，增强岩土体的整体性和抗剪强度，减少岩土体的侧向位移，同时通过喷射混凝土面层，保护基坑侧壁岩土体，防止岩土体风化、掉块。施工过程中，需重点控制三个关键环节：（1）土钉的植入，需根据岩土体性质确定土钉的长度、直径、间距及植入角度，确保土钉能够深入稳定岩土体，植入后需进行注浆加固，增强土钉与岩土体的联结力；（2）喷射混凝土面层施工，喷射前需清理基坑侧壁岩土体，去除松动颗粒，喷射过程中控制混凝土的配合比和喷射厚度，确保面层的密实度和强度，防止面层开裂；（3）排水处理，在土钉墙底部设置排水孔，及时排出基坑侧壁的渗水，避免地下水积聚导致岩土体软化，影响支护效果。土钉墙支护技术具有施工便捷、成本较低、适应性较强的特点，但不适用于地下水丰富、基坑深度较大的复杂地质条件^[2]。

2.2 排桩支护技术

排桩支护技术是由一排或多排钢筋混凝土灌注桩、预制桩组成，通过排桩的抗弯、抗剪能力抵御基坑侧壁的侧向压力，控制基坑变形，适用于软土、岩溶、破碎岩等多种复杂地质条件下的中深层基坑支护，尤其适用于地下水丰富或基坑周边有建筑物、地下管线的场景。该技术的核心原理是利用排桩作为支护主体，通过桩体的自身强度和刚度，承受基坑侧壁的侧向土压力和水压力，同时可结合锚杆、内支撑等结构，进一步提升支护

结构的稳定性。施工要点主要包括：（1）桩体施工，根据地质条件选择灌注桩或预制桩，灌注桩需控制成孔质量，防止孔壁坍塌，浇筑过程中确保混凝土密实，避免出现断桩、夹泥等质量缺陷；预制桩需控制沉桩精度，避免桩体倾斜、断裂。（2）桩间防护，排桩之间存在间隙，需采用喷射混凝土、挂网喷浆等方式进行防护，防止桩间岩土体流失，确保基坑侧壁的完整性。（3）锚杆或内支撑配合，对于基坑深度较大、侧向压力较强的场景，需在排桩上设置锚杆或内支撑，锚杆需深入稳定岩土体，通过张拉锁定提供抗拔力，内支撑需保证自身强度和刚度，与排桩协同受力，控制基坑变形。

2.3 地下连续墙支护技术

地下连续墙支护技术是通过在基坑周边浇筑连续的钢筋混凝土墙体，利用墙体的抗弯、抗剪、抗渗能力，抵御侧向压力和地下水渗透，控制基坑变形，适用于深层基坑、地下水丰富、岩溶、破碎岩等复杂地质条件，尤其适用于对基坑变形控制要求较高的工程。该技术的核心优势是整体性强、抗渗性能好、支护刚度大，能够有效控制基坑沉降和侧向位移，同时可兼作地下结构的外墙，实现“支护与主体结构一体化”，减少工程施工工序。施工过程中，需重点关注四个环节：（1）导墙施工，导墙作为地下连续墙的施工导向，需保证其强度、刚度和平面位置精度，防止施工过程中导墙变形、移位，影响墙体浇筑质量；（2）成槽施工，成槽过程中需控制槽壁稳定性，根据地质条件选择合适的成槽设备和泥浆参数，泥浆需起到护壁、携渣、冷却的作用，防止槽壁坍塌；（3）钢筋笼制作与吊装，钢筋笼需严格按照设计要求制作，确保钢筋规格、间距符合标准，吊装过程中防止钢筋笼变形、移位；四是混凝土浇筑，采用导管法浇筑混凝土，控制浇筑速度和导管埋深，确保混凝土密实，避免出现蜂窝、麻面、断墙等质量缺陷。地下连续墙支护技术施工难度较大、成本较高，但支护效果可靠，适用于复杂程度较高的地质条件^[3]。

2.4 钢板桩支护技术

钢板桩支护技术是利用钢板桩的抗弯、抗剪能力和锁口联结特性，将钢板桩逐根打入基坑周边岩土体中，形成连续的支护墙体，抵御侧向压力和地下水渗透，适用于软土、地下水丰富、临时基坑等复杂地质条件。该技术的核心特点是施工速度快、拆卸便捷、可重复利用，能够快速形成支护结构，控制基坑变形，尤其适用于工期紧张、临时支护的工程场景。施工要点主要包括：（1）钢板桩选型，根据地质条件和基坑深度，选择合适规格、型号的钢板桩，确保钢板桩的强度和刚度能

够满足支护要求；（2）钢板桩打入，采用打桩设备将钢板桩逐根打入岩土体中，控制打入深度和垂直度，确保钢板桩之间的锁口联结紧密，防止渗水和岩土体流失；

（3）支撑设置，对于基坑深度较大、侧向压力较强的场景，需在钢板桩内侧设置内支撑，控制钢板桩的侧向变形，支撑需采用型钢支撑，确保自身强度和稳定性；四是钢板桩拔除，工程完工后，需采用拔桩设备将钢板桩拔除，拔除过程中需控制拔桩速度，避免对周边岩土体造成扰动，同时对拔除后的桩孔进行回填处理，防止地面沉降。

3 复杂地质下边坡防护技术应用

3.1 喷锚防护技术

喷锚防护技术是喷混凝土防护与锚杆防护的结合，通过在边坡岩土体中植入锚杆，喷射混凝土面层，将锚杆与边坡岩土体、混凝土面层形成一个整体，增强边坡岩土体的整体性和抗剪强度，防止边坡岩土体风化、掉块、滑坡，适用于破碎岩、高陡岩层、软土等复杂地质条件下的边坡防护，尤其适用于坡度较陡、岩土体稳定性较差的边坡。施工要点主要包括：（1）锚杆植入，根据边坡岩土体性质确定锚杆的长度、直径、间距及植入角度，确保锚杆深入稳定岩土体，植入后进行注浆加固，增强锚杆与岩土体的联结力；（2）挂网施工，在边坡岩土体表面铺设钢筋网，钢筋网需与锚杆牢固联结，确保喷射混凝土后形成整体防护结构；（3）喷射混凝土，控制混凝土的配合比和喷射厚度，喷射过程中确保混凝土与边坡岩土体紧密结合，避免出现空鼓、开裂等缺陷；四是排水处理，在边坡表面设置排水槽，在边坡内部设置排水盲沟，及时排出边坡岩土体中的渗水，减少地下水对边坡稳定性的不利影响^[4]。

3.2 格构防护技术

格构防护技术是通过在边坡表面设置钢筋混凝土格构、浆砌石格构等结构，将边坡岩土体划分成若干个独立的区块，利用格构的约束作用，限制边坡岩土体的变形，同时结合植被防护或喷混凝土防护，提升边坡的稳定性和防护效果，适用于软土、破碎岩、高陡边坡等复杂地质条件，尤其适用于边坡岩土体易流失、变形较大的场景。施工要点主要包括：（1）格构设计与施工，根据边坡坡度、岩土体性质确定格构的尺寸、间距及材质，钢筋混凝土格构需控制模板安装精度和混凝土浇筑质量，浆砌石格构需控制砌筑砂浆的强度和密实度，确保格构结构的强度和刚度；（2）格构与边坡的联结，格构需嵌入边坡岩土体一定深度，与边坡紧密结合，确保格构能够有效约束边坡岩土体的变形；（3）格构内防

护,在格构区内铺设植被或喷射混凝土,植被防护可提升边坡的抗侵蚀能力,喷混凝土防护可增强格构内岩土体的稳定性,根据地质条件选择合适的内防护方式;四是排水处理,在格构交点处设置排水孔,及时排出格构内的渗水,避免地下水积聚导致岩土体软化。

3.3 挡土墙防护技术

挡土墙防护技术是通过在边坡坡脚设置挡土墙,利用挡土墙的抗侧移能力,抵御边坡岩土体的侧向压力,防止边坡滑坡、崩塌,适用于软土、破碎岩、高陡边坡等复杂地质条件,尤其适用于边坡坡脚岩土体承载力较低、侧向压力较大的场景。挡土墙的类型主要包括重力式挡土墙、悬臂式挡土墙、扶壁式挡土墙,需根据地质条件和边坡受力情况选择合适的类型。施工要点主要包括:(1)基础施工,挡土墙基础需设置在稳定的岩土体上,根据地质条件选择合适的基础形式,确保基础的承载力和稳定性,避免基础沉降导致挡土墙变形、开裂;(2)墙体施工,控制墙体的砌筑或浇筑质量,确保墙体的强度和刚度,墙体表面需平整,灰缝或混凝土密实,避免出现裂缝、空鼓等缺陷;(3)排水设施设置,在挡土墙墙体上设置排水孔,在基础底部设置排水盲沟,及时排出挡土墙背后的渗水,减少地下水对挡土墙的侧压力,防止挡土墙因渗水压力过大而损坏;四是回填施工,挡土墙背后的回填土需分层夯实,选择级配良好、透水性强的回填材料,避免回填土沉降导致挡土墙受力不均。

3.4 植被防护技术

植被防护技术是利用植被的根系固定边坡岩土体,利用植被的茎叶减缓雨水冲刷,提升边坡的抗侵蚀能力和稳定性,适用于软土、风化岩、坡度较缓的复杂地质条件,尤其适用于对生态环境要求较高的工程场景。该技术的核心优势是生态环保、成本较低、施工便捷,能够实现“防护与生态修复一体化”,同时可改善周边生态环境。施工要点主要包括:(1)植被选型,根据地质条件、气候环境选择适生、耐旱、耐贫瘠、根系发达的植被品种,确保植被能够在复杂地质环境中存活,且根系能够有效固定岩土体;(2)边坡修整,在植被种

植前,需对边坡进行修整,去除松动岩土体,使边坡坡度均匀、表面平整,为植被种植创造良好条件;(3)种植施工,根据植被品种选择合适的种植方式,可采用播种、移栽等方式,控制种植密度和深度,确保植被成活率;四是后期养护,种植后需及时浇水、施肥,清除杂草,防止病虫害,确保植被能够正常生长,充分发挥防护作用。需要注意的是,植被防护技术仅适用于坡度较缓、岩土体稳定性较好的复杂地质条件,对于坡度较陡、岩土体易坍塌的场景,需与喷锚、格构等防护技术结合使用^[5]。

结束语

复杂地质条件下基坑支护与边坡防护是岩土工程领域的重点与难点。本文系统阐述了土钉墙、排桩、地下连续墙、钢板桩等基坑支护技术及喷锚、格构、挡土墙、植被防护等边坡防护技术的适用条件、施工要点与技术优势。工程实践表明,合理选择支护与防护方案、严格控制施工质量、加强全过程监测,可有效应对复杂地质带来的不利影响,保障基坑与边坡安全稳定。未来应进一步推进支护技术智能化与绿色化发展,提升复杂地质条件下工程建设的安全性及经济性。

参考文献

- [1]程代兵.土木工程深基坑支护技术的应用实践[J].四川水泥,2025(9):138-140+143.
- [2]王福荣.深基坑支护技术在土木工程现场施工中的应用研究[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2025(2):063-066.
- [3]倪文帅.基坑支护技术在建筑土木工程施工中的应用策略探讨[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2025(2):159-162.
- [4]陈定荣.浅谈土木工程房屋建设中深基坑支护技术的应用[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2025(8):114-117.
- [5]廖勇.基坑支护施工技术在住宅建筑土木工程中的应用探讨[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2025(9):182-185.