 DOI: https://doi.org/10.12349/edc.v8i3.9825

Research on the Technology of Slope Support in Construction of Building Engineering

Yang Lu

Xi 'an Aerospace Power Test Technology Research Institute, Xi' an, Shaanxi, 710100, China

Abstract

With the increasing prevalence of deep foundation pits and high slope projects of large scale, slope support technology has become a critical component in modern civil engineering. This paper analyzes the technical systems of slope support in construction projects, evaluates the advantages and limitations of various support technologies, and examines their application timelines under different geological and environmental conditions through case studies. The research demonstrates that scientific slope support integrates geological surveys, precision design, meticulous construction, and dynamic monitoring. As a key factor in improving construction quality, continuous optimization of slope support technology contributes to elevating the overall technical standards of slope engineering in construction projects.

Keywords

Construction engineering; Slope support technology; Stability analysis; Application value

建筑工程施工中的边坡支护技术研究

陆阳

西安航天动力试验技术研究所，中国·陕西 西安 710100

摘　要

深基坑、高边坡工程日益增多且施工规模较大，边坡支护技术已经成为现代土木工程施工中重要环节。本文通过分析建筑工程中边坡支护技术体系，分析各类支护技术的优势与缺点，结合典型的工程案例，分析在不同地质及环境下的技术方案应用时间。研究可知：科学的边坡支护融合了地质勘察、精准设计、精细施工和动态监测，边坡支护技术是提高施工质量的关键，通过持续优化有利于提高建筑项目边坡工程整体技术水平。

关键词

建筑工程施工；边坡支护技术；稳定性分析；应用价值

1 引言

随着城市化进程进入以提高质量为核心的新阶段，土地资源稀缺与发展需求之间的矛盾凸显，为了拓展发展空间、优化城市功能，建筑工程呈现出向地下空间纵深开发、向复杂山区环境拓展的发展趋势，这些深基坑与高边坡构成普遍具有地质条件复杂、周边环境敏感、施工风险高的特点，导致边坡稳定性分析与支护技术选择决定了施工质量。边坡失稳是岩土工程领域最具有破坏性的灾害，国内外因支护不当或失效导致基坑坍塌、山体滑坡等事故屡见不鲜，比如某些深基坑工程因支护结构设计缺陷或施工质量问题，不仅造成施工人员重大伤亡、机械设备损坏等，造成巨额的经济损失和恶劣的社会影响。

【作者简介】陆阳，男，中国陕西汉中人，硕士，高级工程师，从事工业项目建造与施工管理研究。

2 边坡支护技术的设计与施工要点

2.1 支护结构选型原则

支护结构的选型是一个多目标、多约束的综合性决策过程，需要在安全、经济、工期之间寻求最佳平衡，核心原则包括：

2.1.1 基于工程地质与水文条件

地质与水文条件是边坡支护技术选型的依据。要掌握岩土体的物理力学参数、地层分布、构造特征和地下水类型和渗透性等。对于软弱淤泥质土、松散砂层或高含水地层，优先考虑具有良好止水性能的支护形式，比如地下连续墙、SMW 工法桩或结合帷幕注浆。对于岩质边坡或硬塑状土体，可采用锚杆、土钉等依赖岩土体自身强度的主动加固技术。

2.1.2 基于基坑深度、边坡高度和周围环境

工程的规模与环境的敏感度决定了支护方案的刚度与变形控制要求。首先，深度或高度。深度＜ 6m 的浅基坑可考虑土钉墙、钢板桩等较为经济的方案；中等深度基坑采取

桩锚支护、SMW 工法桩。深度＞ 12m 的深大基坑或高陡边坡，则多采用地下连续墙、多道内支撑或桩锚＋内支撑复合形式。其次，周围环境。邻近重要建筑物、地铁隧道、主干管线时，必须将变形控制放在第一位，选择刚度大、变形小的支护形式，比如地下连续墙、灌注桩＋多道预应力锚索，配合严格的监测与注浆保护措施。

2.1.3 基于工期、造价

在满足安全与环境要求的基础上，需要对边坡支护技术的经济性进行对比。首先，工期。对工期紧迫的项目，可选用施工速度快的预制桩、预应力装配式构件或逆作法中的地下连续墙。土钉墙虽然需要分层施工，但工序简洁，整体工期也相对可控。其次，造价。需要采取全生命周期成本分析。比如，SMW 工法桩型钢可回收，能显著降低材料成本；地下连续墙初期投入高，但若作为永久地下室侧墙，具有综合经济优势 [1]。

2.2 关键支护技术分析

2.2.1 土钉墙支护

该支护类型的原理是通过植入坡体的密集土钉，与土体形成复合加筋土体，利用土钉与土间的摩阻力以及面层的约束作用，全面提高边坡的整体稳定性和抗变形能力。属于“自稳式”柔性支护，适用于地下水位以上或降水后粉土、黏性土、填土等，基坑深度一般不宜超过 12m，不适用于软弱淤泥层、流沙地层等。土钉长度通常为基坑深度的 0.5 ～ 1.2 倍，间距为 1 ～ 2m，倾角在 5 ～ 20°，面层采用 ϕ6 ～ ϕ10 钢筋网，喷射 C20 混凝土，厚度为 80 ～ 150mm。

2.2.2 桩锚支护体系

该体系由挡土排桩和预应力锚杆组成，排桩将土压力传递给锚杆，锚杆通过锚固段将力传递到稳定地层，就像一个连续梁从而形成高效的深度支护结构。该体系设计需要进行桩身内力计算、嵌固深度计算、锚杆承载力与长度设计，冠梁作为连接各桩顶的关键构件，能够协调各桩受力，增强整体性；腰梁是锚杆水平力的传力构件，必须具有足够的刚度才可以保证与桩身紧密接触。该技术的施工流程为：施工排桩→开挖到第一道锚杆标高下 0.5m →施工冠梁和第一道锚杆→张拉锁定锚杆→继续分层开挖并施工后续锚杆和腰梁 [2]。关键技术包括：确保桩身垂直度与完整性，锚杆成孔进度与清孔质量，浆体配制与高压注浆等。

2.2.3 地下连续墙

地下连续墙是在基坑周围地下构筑的连续钢筋混凝土墙，集挡土、止水、承重于一体。最大优势为刚度极大、变形极小且止水效果好，可直接作为主体地下结构的外墙，可节约工程造价和地下空间，适用于超深基坑和复杂地层。关键施工技术包括：（1）导墙施工。精准的导墙是成槽精度和垂直度的基准，用于存储泥浆。（2）泥浆护壁。采用膨润土泥浆维持槽壁稳定，其性能需要动态监控。（3）成槽开挖。采用液压抓斗或铣槽机分槽段开挖，实时监测垂直度。（4）钢筋笼吊装。巨型钢筋笼需要进行专项吊装设计，采用双机或多机抬吊，保证平稳、精确入槽。（5）地下混凝土浇筑。采用导管法连续浇筑，保证混凝土将泥浆完全置换，控制个导管高差，防止出现夹层或冷缝。地下连续墙的技术要点见表 1。

表 1 地下连续墙的技术要点

分类	核心特点 / 工序	技术要求
核心优势	刚度大、变形小；止水效果好；“两墙合一”、超强适应性	1、连续钢筋混凝土墙体，能有效控制基坑变形，保护周边环境。 2、墙体连续无缝，自身即为优良的止水帷幕，尤其适用于高水位地层。 3、可直接作为主体地下结构的外墙，节省工程造价、缩短工期、减少地下空间占用。 4、特别适用于超深基坑（>15m）、紧邻敏感建构筑物及地质条件复杂（如软土、砂层）的工程。
槽段施工技术	导墙施工→泥浆护壁→成槽开挖→钢筋笼吊装→水下混凝土浇筑	1、导墙施工要求定位精确，强度与稳定性满足要求，通常采用现浇钢筋混凝土结构。 2、泥浆护壁需要动态监测并调整泥浆性能（比重、粘度、pH 值、含砂率），确保槽壁安全。 3、成槽开挖需要分幅、分段开挖，实时监测垂直度（一般要求 ≤1/300），确保槽壁平整与垂直。 4、钢筋笼吊装。进行专项吊装设计，采用双机或多机抬吊，确保平稳、垂直、精确入槽，避免变形。 5、水下混凝土浇筑。连续浇筑，保证混凝土面均匀上升，导管埋深适宜，确保将泥浆完全置换，防止出现夹层、冷缝等质量缺陷。

2.2.4 SMW 工法桩

该工法是在三轴深层搅拌桩内插入 H 型钢形成的复合挡土墙。首先，用三轴搅拌钻机在原位土中切割搅拌，同时喷注水泥浆，形成连续致密的水泥土搅拌墙，即止水帷幕。其次，在水泥初凝前，通过专用设备将 H 型钢精准插入指定位置，等待基坑施工完毕，主体结构具备条件后，采用专用液压顶拔装置将型钢拔出后进行回收 [3]。

该技术的优势就是型钢可回收，因此降低了支护材料的永久性消耗，技术经济性较高。而且，SMW 工法桩还具有很好的支撑性和挡土强度，适用于深度＜ 15m 的软弱基坑。该技术对于硬土层或砂卵石层中的成桩困难，型钢拔除后留下的孔隙也需要用水泥浆填满，因此具有一定的环境风险性。

3 结合工程案例分析边坡边坡技术应用效果

3.1 工程概况

本文以某城市中心的超高层建筑地下室基坑工程举例，基坑开挖深度为 18.5m，平面形状呈不规则矩形，周长为

320m。工程场地土层自上而下为杂填土、粉质黏土、中密砂卵石层，地下水埋深月 3m。工程面临挑战为：基坑东临紧靠城市轨道交通 1 号线区间隧道，隧道结构外壁距离基坑最近处只有 12.5m。场地周围市政管线密集，包括高压电缆、主供水管、通信电缆等。

3.2 支护方案选择与设计

通过多种方案必选后，最终确定采用钻孔灌注桩 + 三道预应力锚索的桩锚支护体系，结合帷幕止水。该方案的优势为：不仅能提供足够刚度以控制变形，又能通过施加预应力主动限制位移。

支护结构设计参数为：（1）支护桩。采用直径 1m 的钻孔灌注桩，桩中心距 1.2m，桩长 30m，采用 C30 混凝土。（2）预应力锚索。采用 4 束 ϕ15.2 钢绞线，设置三道锚索：第一道在冠梁处，第二和第三道通过型钢腰梁与桩身连接。设计锚索预应力锁定值为 250 ~ 350kN，倾角为 15 ~ 20°，长度为 25 ~ 30m，锚固段深入稳定的砂卵石层。在支护桩外侧施工一排三重管高压旋喷桩，形成封闭的止水帷幕，坑内设置疏干井进行降水，最大限度减少地下水对基坑和周围环境的影响。

3.3 工程效果评价

首先，支护结构桩顶水平位移最大值累计为 8.2mm，小于设计预警值的 25mm。施工过程中，邻近地铁隧道的最大附加沉降为 5.1mm，最大水平位移为 3.8mm，均控制在 10mm 的安全标准中。锚索预应力值在锁定后存在 10 ~ 15% 的损失，随后在后续开挖中逐步增加并且趋于稳定，最终值在设计承载力的 70 ~ 85% 范围内，表示设计合理。

其次，本案例锚索支护体系成功应用，证实了在复杂城市环境下深基坑工程中，该技术有极大的优势。见表 2。

表 2 锚索支护体系成功应用

评价指标	现象	分析结果
安全性	实现了基坑自身稳定与毗邻地铁隧道安全的“双安全”目标。	成功依赖于“桩—锚—土”协同作用的有效发挥及对“时空效应”原则（分层、分区、及时支撑）的严格遵守。
技术性	变形控制达毫米级精度；地下水控制有效。	方案设计针对性强（桩锚组合 + 高压旋喷帷幕）。动态调整机制响应及时，整套技术体系可靠、精准。
经济与社会效益	相较于地下连续墙内支撑方案，具备造价更低、工期更短的优势。	在达成同等安全目标下，经济性更优。其对地铁的“零干扰”保护，创造了巨大的隐性社会效益，为城市核心区建设提供了可靠的技术范式。

4 结语

本研究从技术要点、工程实践两个方面，对建筑工程边坡支护技术的原理及应用进行讨论，成功的边坡支护工程需要做好地质勘察、科学结构设计等，要结合地质条件进行适当的人工干预，确保工程质量，并且减少工程对环境的影响。

参考文献

[1] 马钊. 土木建筑工程施工边坡支护技术探究[J].新城建科技,2023,32(23):118-120.

[2] 金芳华,卢娜娜. 建筑工程施工中的边坡支护技术研究[J].中华建设,2022,(10):137-138.

[3] 马振宇. 土木建筑工程施工边坡支护技术分析[J].四川水泥,2022,(05):146-147.