

基坑支护技术在建筑工程施工中的施工工艺研究

吴旭亮

单县村镇建设和房屋征收服务中心 山东 菏泽 274300

摘要:随着我国城市化进程的不断加快,高层建筑、地下空间开发等工程项目日益增多,深基坑工程已成为现代建筑工程中不可或缺的重要组成部分。基坑支护作为保障基坑开挖安全、控制周边环境变形的关键技术,其施工工艺的科学性与合理性直接关系到整个工程的安全、质量与经济性。本文系统梳理了当前主流的基坑支护技术类型,深入分析了各类支护结构(如排桩支护、地下连续墙、土钉墙、内支撑体系、锚杆支护及复合支护)的设计原理与施工工艺流程,并结合实际工程案例,探讨了施工过程中的关键技术控制要点、常见问题及应对措施。最后,文章对基坑支护技术的发展趋势进行了展望,旨在为相关工程实践提供理论参考与技术指导。

关键词: 基坑支护; 施工工艺; 排桩; 地下连续墙; 土钉墙; 内支撑; 锚杆

引言

近年来,随着土地资源日益紧张,城市建筑向高空和地下双向发展已成为必然趋势。高层、超高层建筑以及地铁、地下商业街、综合管廊等地下工程的大规模建设,使得深基坑工程的数量和深度不断增加。基坑开挖过程中,由于土体卸荷作用,极易引发边坡失稳、地面沉降、邻近建筑物倾斜甚至坍塌等安全事故,不仅造成巨大的经济损失,还可能危及人民生命安全。因此,科学合理的选择并实施基坑支护技术,是确保深基坑工程施工安全的核心环节。基坑支护技术是指在基坑开挖过程中,为防止土体坍塌、控制变形、保护周边环境而采取的一系列结构措施和施工方法的总称。其核心目标是在保证基坑自身稳定的同时,最大限度地减少对周边建(构)筑物、道路、管线等的影响。

1 建筑工程主要支护技术的施工工艺分析

1.1 排桩支护施工工艺

排桩支护通常采用钻孔灌注桩工艺,其施工过程需严格遵循分步作业与质量控制原则。首先依据设计图纸进行精确测量放线,确定每根桩的平面位置。随后使用旋挖钻机或回转钻机进行成孔作业,过程中需密切监控孔壁稳定性,防止塌孔或缩径现象发生,同时确保桩身垂直度偏差控制在1%以内。成孔完成后,应及时清孔,清除孔底沉渣,以保证桩端承载力满足设计要求。钢筋笼需按设计规格在加工场预制,运输至现场后采用吊车整体或分段吊装,过程中应采取防变形措施,确保几何尺寸准确^[1]。随后采用导管法进行水下混凝土灌注,灌注过程必须连续、匀速,避免断桩或夹泥等质量缺陷。桩顶通常设置钢筋混凝土冠梁,将各单桩连接成整体,增强支护结构的整体刚度与协同工作能力。在土方开挖阶

段,必须坚持“分层、分段、对称、限时”的原则,严禁超挖或局部集中开挖,以减少对支护结构的瞬时荷载冲击。同时,应同步开展支护结构位移、周边地表沉降及地下水位等监测工作,实现信息化施工。此外,桩间土体若未及时封闭,易发生局部坍塌或水土流失,因此需在开挖后迅速采取挂网喷射混凝土、砌筑挡土砖墙等防护措施,确保支护体系的整体稳定性。

1.2 地下连续墙施工工艺

地下连续墙的施工工艺较为复杂,技术集成度高,对设备与管理水平要求严格。施工起始于导墙的修筑,导墙作为成槽定位与泥浆储存的基准结构,通常采用现浇钢筋混凝土,其轴线精度直接影响后续墙体的位置准确性。随后建立泥浆制备与循环系统,采用膨润土配制护壁泥浆,通过控制泥浆比重、粘度和含砂率等参数,有效维持槽壁稳定,防止塌槽。成槽作业常采用液压抓斗或铣槽机分段进行,每段长度一般为4~6米。施工中需实时监测槽壁垂直度,确保偏差不超过1/300,以保障墙体的整体性和受力均匀性。成槽至设计深度后,需进行清底换浆,彻底清除槽底沉渣并置换新鲜泥浆,为后续混凝土浇筑创造良好条件。钢筋笼通常在地面整体预制,因其体积庞大、重量重,吊装过程需采用多点起吊方案,并设置临时加固桁架以防变形。钢筋笼入槽后,立即组织水下混凝土浇筑,采用多根导管同步作业,确保混凝土从底部向上均匀上升,避免出现冷缝或夹泥。墙体接头处理尤为关键,常用的锁口管、工字钢接头或铣接头技术,需确保接缝处的止水性能,防止地下水沿接缝渗入基坑。整个施工过程中,泥浆性能管理、槽壁稳定性控制、接头防渗处理及钢筋笼定位精度是决定工程质量的核心要素。任何环节的疏忽都可能导致墙体渗

漏、强度不足或整体失稳,进而影响基坑安全。

1.3 土钉墙施工工艺

土钉墙采用“自上而下、分层开挖、分层支护”的逆作法施工理念,强调开挖与支护的时空协调性。施工伊始,先进行第一层土方开挖,深度通常控制在1.5至2.0米之间,随后对开挖面进行修整,清除松散土体,确保坡面平整稳定。接着采用洛阳铲或小型钻机成孔,孔径一般为80至120毫米,倾角略向下倾斜以利于排水。成孔后,将带肋钢筋作为土钉插入孔内,并在端部设置承压垫板。随后进行压力注浆,注入水泥砂浆或纯水泥浆,使浆液充分包裹钢筋并与周围土体形成牢固粘结,从而将土钉转化为有效的抗拉构件。注浆质量直接决定土钉的锚固性能,必须确保浆体饱满、无空洞^[2]。在土钉安装完成后,铺设 $\Phi 6 \sim 8$ 毫米间距200毫米的钢筋网,并采用喷射混凝土工艺形成面层。初喷厚度约40~60毫米,待钢筋网固定后再进行终喷,达到设计厚度(通常为80~120毫米)。喷射过程中需控制回弹率,保证混凝土密实度与强度。重复上述工序,逐层向下推进,直至基坑底部。值得注意的是,土钉墙施工对开挖节奏与支护时机极为敏感。若开挖过快而支护滞后,极易引发局部滑塌;反之,若支护过早,则可能因土体未充分卸荷而影响土钉受力状态。此外,必须在面层中设置泄水孔,形成有效的排水系统,防止雨水或地下水在面层后积聚导致水压力增大,削弱支护效果。

1.4 内支撑体系施工工艺

内支撑体系的施工需与土方开挖紧密配合,体现“随挖随撑”的原则。在围护结构(如排桩或地下连续墙)施工阶段,应预先埋设支撑牛腿或连接钢板,为后续支撑安装提供可靠节点。当土方开挖至第一道支撑设计标高时,暂停开挖,立即组织支撑施工。以钢筋混凝土支撑为例,需先安装模板并绑扎钢筋,随后浇筑早强混凝土,并加强养护以缩短拆模周期。支撑轴线与标高的控制至关重要,偏差过大会导致偏心受力,降低结构承载能力。支撑与围护结构之间的连接必须牢固可靠,通常采用预埋件焊接或植筋锚固方式,确保力的有效传递。在多道支撑体系中,下层支撑的安装必须在上层支撑达到设计强度后方可进行,避免围护结构在无支撑状态下长时间暴露^[3]。基坑底板或地下室结构梁板施工完成后,需按设计要求进行换撑或直接拆除内支撑。拆撑顺序应遵循“先撑后拆、对称均衡”的原则,防止因卸载过快导致围护结构反弹变形。施工全过程中,需对支撑轴力进行实时监测。一旦发现轴力异常增长或骤降,应立即分析原因,必要时采取补强或卸载措施,防止支撑

失稳引发连锁反应。

1.5 锚杆支护施工工艺

锚杆支护施工始于精确定位与成孔。采用地质钻机按设计倾角(通常为 $15^\circ \sim 25^\circ$)钻进至预定深度,成孔直径根据锚杆类型确定。成孔后,将预先制作好的钢绞线或钢筋束锚杆体放入孔,杆体上设置对中支架,确保其位于孔中央,便于浆液均匀包裹。随后进行注浆作业,通常分为一次注浆和二次压力注浆两个阶段。一次注浆主要用于填充锚固段孔隙,形成初步锚固体;二次注浆则在初凝后施加压力,迫使浆液劈裂周围土体,进一步扩大锚固范围,显著提升锚固力。注浆压力与流量需严格控制,过高易导致地表冒浆,过低则影响锚固效果。待浆体强度达到设计值的70%以上时,方可进行张拉锁定。张拉过程应分级加载,持荷稳定后锁定于设计荷载,并记录最终锁定值。自由段需进行防腐处理,通常涂刷防腐油脂并套入波纹管,再用水泥浆封填,以延长锚杆使用寿命。锚杆施工对地质条件依赖性强,在软土或高水位地层中,成孔易塌陷,注浆扩散困难,锚固力难以保证。因此,施工前应进行现场试验锚,验证设计参数的合理性,并根据试验结果动态调整施工方案。

2 施工过程中的关键问题与应对措施

2.1 地下水控制

地下水控制是基坑工程成败的关键因素之一。在富水地层中,若不采取有效降水或止水措施,极易引发管涌、流砂甚至基坑突涌等灾难性事故。常见的地下水控制手段包括降水与止水相结合的方式。降水可采用轻型井点或深井管井系统,将地下水位降至坑底以下1米以上;止水则通过高压旋喷桩、TRD工法墙或地下连续墙形成封闭帷幕,阻断外部水源补给。然而,大规模降水可能引起周边土体固结沉降,对邻近建筑和管线造成不利影响,因此需同步实施回灌井或设置沉降隔离桩,实现环境风险可控。

2.2 变形监测与信息化施工

变形监测与信息化施工是现代基坑工程的核心管理理念。通过在支护结构、周边地表、邻近建筑物及支撑体系上布设自动化监测点,实时采集位移、沉降、轴力、水位等数据,并设定三级预警阈值^[4]。一旦监测值接近预警线,系统自动报警,项目团队可迅速响应,调整开挖顺序、增设临时支撑或优化降水方案,实现“动态设计、动态施工”。这种闭环反馈机制极大提升了基坑工程的风险防控能力。

2.3 常见事故及预防

在实际施工中,仍可能出现支护结构位移过大、桩

间土流失、锚杆失效等突发问题。这些问题往往源于设计参数偏差、施工操作不当或地质条件突变。对此，应建立完善的应急预案体系，如储备应急支撑材料、配置快速注浆设备、制定人员疏散路线等。同时，强化施工人员技术交底与过程监管，从源头上减少人为失误，确保支撑体系始终处于受控状态。

3 工程案例分

某市中心地铁站深基坑工程具有典型代表性。该基坑深度达18.5米，地质条件复杂，上部为杂填土，中部为高压缩性淤泥质黏土，下部为透水性强的粉砂层，且地下水位高、水量丰富。基坑东侧距离既有高层建筑仅8米，北侧紧邻城市主干道，地下管线密集，环境保护等级为一级。经多方案比选，最终采用“地下连续墙+三道混凝土内支撑+管井降水”的复合支撑体系。地下连续墙厚800毫米，深度35米，穿透粉砂层进入相对隔水层，形成可靠止水帷幕。内支撑采用钢筋混凝土结构，按受力需求分三层布置。降水系统由双排管井组成，确保水位稳定在坑底以下。施工过程中，采用铣槽机成槽，有效控制墙体垂直度；实施自动化监测平台，实时传输200余个监测点数据；严格执行分层开挖制度，每层开挖深度不超过3米，并在24小时内完成支撑施工。最终，基坑最大水平位移为28毫米，周边建筑沉降控制在15毫米以内，完全满足一级基坑变形控制标准，保障了城市核心区的公共安全与交通秩序。

4 基坑支护技术的发展趋势

面向未来，基坑支护技术正朝着绿色化、智能化、集成化方向加速演进。在可持续发展理念驱动下，可回收锚杆、装配式钢支撑等绿色支护技术逐步推广，显著减少建筑垃圾与碳排放。BIM技术已广泛应用于支护结构的三维建模、碰撞检查与施工模拟，提升设计精度与协

同效率。物联网与人工智能的引入，使得监测数据自动采集、风险智能预警成为可能，推动基坑工程迈入“数字孪生”时代。新材料的应用也为支护技术带来革新。超高性能混凝土(UHPC)因其高强度、高耐久性，正被尝试用于关键支护构件；TRD工法、CSM工法等新型等厚度水泥土搅拌墙技术，在超深止水帷幕领域展现出优越性能。此外，EPC(设计-采购-施工)一体化模式的推广，促使设计、施工与监测单位深度融合，实现全过程协同优化，大幅提升工程效率与本质安全水平。

5 结语

基坑支护技术是深基坑工程安全的核心保障。本文系统研究了排桩、地下连续墙、土钉墙、内支撑、锚杆等主流支护形式的施工工艺，明确了各类技术的适用条件与关键控制要点。研究表明，科学合理的支护方案必须基于详细的地质勘察、严谨的结构计算和精细化的施工管理。未来，随着新材料、新工艺和智能技术的不断发展，基坑支护将朝着更安全、高效、绿色和智能化的方向迈进。工程实践中应坚持“动态设计、信息化施工”原则，强化全过程风险管控，为城市地下空间安全开发提供坚实技术支撑。

参考文献

- [1]丁韬.深基坑支护施工技术在建筑工程施工中的应用研究[J].石材,2025,(10):77-79.
- [2]白永龙.深基坑支护施工技术在建筑工程施工中的运用[J].大众标准化,2025,(08):137-139.
- [3]张磊.基坑支护技术在建筑工程施工中的应用研究[J].房地产世界,2025,(06):146-148.
- [4]韩波.基坑支护技术在建筑工程施工中的施工工艺研究[J].科技资讯,2025,23(04):176-178.