

软土地区深基坑支护施工变形控制技术及工程实践

张志杰

中国能源建设集团天津电力建设有限公司 天津 300180

摘要：软土地区深基坑工程施工难度大、风险高。其工程特点受软土物理力学性质、水文地质条件及周边环境等影响。为控制施工变形，采用土体加固、支撑体系优化设计、降水与排水控制、开挖过程动态调整等技术。在工程实践中，严格实施技术方案，把控施工质量，通过变形监测实时反馈调整施工。综合评估技术效果时，从变形控制、经济成本、施工进度、周边环境的影响等方面考量，以确保工程安全、高效、环保地完成。

关键词：软土地区；深基坑支护；变形控制技术；工程实践

引言：在城市建设蓬勃发展的当下，软土地区的深基坑工程不断涌现。软土独特的物理力学性质，如高含水率、低抗剪强度和显著流变性，给深基坑支护施工带来极大挑战。施工中一旦变形控制不当，不仅会造成基坑自身失稳、坍塌，还会对周边建筑物、地下管线等造成不可逆破坏，引发严重安全事故和经济损失。因此，探寻有效的深基坑支护施工变形控制技术，并将其成功应用于工程实践，对保障工程安全、推动行业技术进步意义重大。

1 软土地区深基坑工程特点

软土地区深基坑工程具有显著的特点，这些特点给工程的设计、施工和管理带来了诸多挑战。软土的物理力学性质决定了深基坑在该地区的施工难度较大，软土具有较高的含水量，这使得其孔隙比大，导致土体的压缩性强。在深基坑施工过程中，土体容易发生较大的沉降和变形，对周边环境造成不利影响。软土的抗剪强度低，使得基坑边坡的稳定性较差，容易出现滑坡、坍塌等事故。软土的流变性明显，在长期荷载作用下，土体的变形会持续发展，增加了基坑支护结构的受力和变形风险。随着城市建设的发展，深基坑的开挖深度和面积不断增大，这对基坑支护结构的设计和施工提出了更高的要求^[1]。同时，深基坑工程往往涉及到多个专业领域，如岩土工程、结构工程、地下工程等，需要各专业之间密切配合，协同工作。软土地区的深基坑工程还受到周边环境的限制，如邻近建筑物、地下管线等，施工过程中需要采取有效的保护措施，以减少对周边环境的影响。软土地区的水文地质条件也对深基坑工程产生重要影响，该地区地下水位较高，地下水的渗流会对基坑支护结构产生浮力和渗透压力，增加了支护结构的稳定性风险。同时，地下水的存在还会导致土体的软化

和液化，进一步降低土体的强度和稳定性。由于软土的特殊性质和工程的复杂性，施工过程中容易出现各种意外情况，如基坑坍塌、地下水渗漏、周边建筑物沉降等。这些风险不仅会影响工程的进度和质量，还可能对人员的生命安全造成威胁。因此，在施工过程中，需要加强风险管理，制定完善的应急预案，以应对可能出现的风险。

2 软土地区深基坑支护施工变形控制技术

2.1 土体加固技术

软土地区深基坑施工中，土体加固是控制围护结构变形和坑周地层沉降的关键手段。（1）搅拌桩加固技术。采用水泥搅拌桩对坑内被动区土体进行加固，通过搅拌头将水泥浆与软土强制拌合，形成水泥土桩体，提高被动区土体强度和侧向抗力，有效减小围护墙体位移。（2）高压旋喷桩加固技术。对于搅拌桩难以处理的部位或加固深度较大的区域，采用高压旋喷桩施工，利用高压射流切割土体并掺入水泥浆，形成均匀的加固体，特别适用于基坑转角、阴角等变形敏感部位。（3）注浆加固技术。对坑底以下软弱土层或渗漏部位，采用劈裂注浆或渗透注浆方式，充填土体孔隙，提高土体密实度和抗渗性能，减少坑底隆起和管涌风险。（4）降水预固结技术。结合真空预压或井点降水，降低坑内地下水位，使土体在自重和真空压力作用下排水固结，提前完成部分沉降，增大土体有效应力，改善土体物理性质。（5）加固质量检测技术。施工完成后采用取芯试验、静力触探等方法检测加固体强度和均匀性，确保加固效果达到设计要求，为基坑安全施工提供可靠保障。

2.2 支撑体系优化设计

支撑体系是深基坑变形控制的核心环节，科学优化

设计能有效约束围护结构变形。(1) 支撑形式的合理选择。根据基坑平面形状、开挖深度及周边环境条件,合理选用混凝土支撑、钢支撑或两者组合形式。混凝土支撑整体刚度大、稳定性好,适用于第一道支撑;钢支撑安拆快捷、可施加预应力,适用于下部支撑。(2) 支撑平面布置优化。结合基坑形状优化支撑布置方式,角部采用斜撑加强,长边中部设置桁架式对撑,减小水平支撑跨度,避免局部刚度薄弱导致的变形集中现象。(3) 支撑竖向间距控制。通过计算分析合理确定支撑竖向道数与间距,遵循“先撑后挖、随挖随撑”原则,减小无支撑暴露时间与高度,有效控制围护墙体水平位移。(4) 预应力施加技术。钢支撑安装后及时施加设计预应力,通过预应力补偿消除支撑与围护体间的空隙,主动控制墙体变形,并根据监测数据适时进行预应力复加调整。(5) 支撑体系换撑设计。制定合理的换撑方案,在底板浇筑后设置传力带,依次拆除下部支撑,确保拆撑过程中基坑变形平稳过渡,避免因支撑拆除引起结构二次变形。

2.3 降水与排水控制策略

在软土地区深基坑支护施工中,降水与排水控制策略至关重要。疏干水可增加坑内土体强度,利于控制基坑围护结构变形。当基坑开挖深度超过 3m 时,一般采用井点降水;开挖深度浅时,可边开挖边用排水沟和集水井集水明排。若基坑底为隔水层且层底有承压水,要进行坑底突涌验算,必要时采取水平封底隔渗或钻孔减压措施,保证坑底土层稳定^[2]。当坑底含承压水层上部土体压重不足以抵抗承压水水头,应布置降压井降低承压水水头压力,防止突涌,确保施工安全。当降水危及基坑及周边环境安全时,宜采用截水或回灌方法。降水方案设计需根据周边围护体情况,不考虑周围地下水补给,将基坑内地下水位降低至设计要求,通过这些策略有效控制深基坑施工中的变形问题。

2.4 开挖过程动态调整

在软土地区深基坑支护施工中,开挖过程动态调整是控制变形的关键环节。施工中需依据监测数据实时调整开挖策略。若围护结构变形速率过快或接近预警值,应立即减缓开挖速度,给土体和支护结构足够时间适应应力变化,避免变形进一步加剧。开挖顺序也需灵活调整,根据不同区域的地质条件和监测反馈,优先开挖对变形影响较小的区域,再处理复杂区域。比如,先挖中间土体,利用其对周边的支撑作用,减少围护结构的侧向压力。支撑设置要与开挖进度紧密配合,每完成一定深度的开挖,及时安装支撑结构,确保其能有效发挥作

用。若监测发现支撑轴力异常,要迅速分析原因,通过增加支撑数量、调整支撑预加力等方式保证支护体系稳定^[3]。还需关注天气等外部因素,降雨会使软土含水量增加、强度降低,此时应暂停开挖并加强排水和支护,待条件改善后再恢复施工,通过动态调整保障深基坑施工安全。

3 软土地区深基坑支护施工变形控制技术的工程实践应用

3.1 技术方案现场实施

技术方案在现场实施过程中,严格遵循设计与规范要求,按计划有序推进。(1) 施工准备与测量放线。施工前完成场地平整、临时设施搭建及技术交底工作,采用全站仪进行精确测量放线,确定围护结构轴线、桩位及支撑位置,并报监理复核确认,确保各部位定位准确。(2) 围护结构施工。按设计要求进行地下连续墙(或钻孔灌注桩)施工,严格控制成槽垂直度、泥浆比重及钢筋笼吊装质量,接头部位采用止水措施,同时完成坑内搅拌桩加固施工,保证围护体系的整体性与止水性。(3) 分层分段开挖与支撑架设。遵循“分层、分段、对称、平衡”的开挖原则,采用盆式开挖方式,先挖中间后挖两侧,每层开挖至支撑设计标高后及时架设钢支撑并施加预应力,混凝土支撑待强度达标后方进行下层开挖,严格控制无支撑暴露时间在 48 小时以内。(4) 降水施工与动态调整。按方案布设井点降水系统,坑内降水与开挖同步实施,坑外设置回灌井控制水位变化,根据监测反馈动态调整降水强度,防止坑外土体过度沉降。(5) 底板浇筑与换撑拆除。开挖至坑底后及时铺设垫层并浇筑底板,底板达到设计强度后设置传力带实施换撑,按自下而上顺序分段拆除支撑,全过程进行变形监测,确保实施过程安全可控。

3.2 施工过程质量把控

在软土地区深基坑支护施工变形控制技术的工程实践中,施工过程质量把控是确保工程安全与稳定的关键。对进场的钢筋、水泥、砂石等材料严格检验,查看质量证明文件,进行抽样复试,杜绝不合格材料进入施工现场,为支护结构提供坚实保障。在钻孔灌注桩施工中,控制好钻孔垂直度、孔径和孔深,确保钢筋笼的制作和下放符合要求,保证混凝土的浇筑质量。对于土钉墙施工,严格把控土钉的长度、间距、倾角以及注浆压力和浆液质量,使土钉与土体有效结合。加强对施工人员的培训和技术交底,提高其操作技能和质量意识^[4]。建立健全质量管理体系,明确各岗位人员的职责,对违规操作及时纠正和处理。实时监测基坑的变形、支撑轴力、地下水位等数据,一旦发现异

常及时分析原因并调整施工参数或采取相应的加固措施,确保施工过程始终处于可控状态,实现对深基坑支护施工质量的有效把控。

3.3 变形监测实时反馈

变形监测实时反馈是信息化施工的核心,通过动态监测与及时预警指导施工调整。(1)监测点位布设与项目确定。根据基坑等级及周边环境特点,沿围护结构顶部、墙体深层、坑周土体及邻近建筑物布设监测点,确定围护墙顶水平及竖向位移、墙体测斜、地表沉降、支撑轴力、地下水位等监测项目,形成完整的监测网络。(2)监测频率的动态安排。开挖阶段加大监测频率,关键工序期间实行每日一次监测,变形速率异常时加密至每日两次甚至实时监测;底板浇筑后适当降低频率,确保监测数据与施工工况相匹配。(3)预警值设定与分级报警。依据设计及规范要求设定各监测项目的预警值、报警值和控制值,实行三级预警管理,当监测数据达到相应阈值时,立即启动分级报警机制,通知相关单位采取措施。(4)数据实时采集与分析处理。采用自动化监测设备与人工监测相结合的方式采集数据,通过信息化平台进行整理分析,绘制时程曲线,研判变形发展趋势,及时识别异常变形征兆。(5)反馈信息指导施工调整。将监测分析结果及时反馈至施工、设计及监理单位,根据变形态势动态调整开挖速度、支撑预应力及降水方案,实现“监测—反馈—调整”的闭环控制,确保基坑及周边环境安全。

3.4 技术效果综合评估

在软土地区深基坑支护施工中,对变形控制技术效果进行综合评估十分必要。从变形控制指标看,通过对比施工前后及施工过程中基坑周边土体、围护结构的位移监测数据,判断是否将变形控制在设计允许范围内。若位移值稳定且远低于预警值,说明技术在控制变形方面成效显著;反之,则需反思技术应用的不足。经济成本也是重要评估维度,核算采用该技术所投入的材料、设备、人力等费用,对比预算与实际成本,分析成本控

制是否合理。若在保证变形控制效果的同时有效节约了成本,表明技术具备良好的经济性。施工进度方面,评估技术应用是否影响了整体工期^[5]。若能在不延误工期甚至加快进度的情况下实现变形控制,说明技术有助于提高施工效率。周边环境的影响同样不可忽视,观察技术实施过程中对周边建筑物、地下管线等的影响程度,若将不利影响降至最低,就体现了技术在环境保护和社会影响方面的优势,综合考量这些方面,才能全面评估技术效果。

结语

未来,软土地区深基坑支护施工变形控制技术将朝着智能化、绿色化和精细化方向迈进。在智能化方面,借助大数据、人工智能等技术实现实时精准监测和智能决策,自动优化施工方案,提升变形控制效率与可靠性。绿色化发展要求采用更环保的材料和工艺,减少对环境的影响。精细化则体现在对施工各环节的精准把控,从土体加固到支撑体系设计,再到开挖过程调整,每个步骤都将更加科学合理。同时,工程实践中也需不断总结经验,加强不同项目间的交流与合作,推动该领域技术持续创新,为软土地区深基坑工程提供更坚实保障。

参考文献

- [1] 唐乃辉.深厚软土地区基坑支护结构变形控制技术[J]. 工程技术研究,2026,11(8):73-75.
- [2] 姜晓明.软土地区高层建筑深基坑开挖支护的变形控制关键技术研究[J]. 中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2026,(5):074-078.
- [3] 张振兴.软土地区桥梁深基础施工沉降控制技术优化与工程实践[J]. 中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2026,(1):197-200.
- [4] 吴小明.软土地区深基坑支护变形控制技术应用研究[J]. 中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2026,(7):029-033.
- [5] 刘亚.软土地区建筑深基坑工程施工技术研究[J]. 砖瓦,2026,(6):164-167.