

深基坑支护开挖施工关键技术及变形监测管控分析

鲁丽朋

中铁十局集团第四工程有限公司 陕西 西安 710000

【摘要】：随着我国城市现代化建设进程加快，城市高层建筑、地下综合管廊、地下车库、地铁隧道等地下工程数量持续激增，深基坑工程作为地下施工的前置核心工序，施工环境愈发复杂，普遍面临周边建筑物密集、地下管线繁杂、地质条件软弱、施工场地狭小等难题。深基坑支护与开挖施工属于高风险危大工程，施工技术选择、工序管控、监测体系落实情况，直接决定基坑施工安全、周边环境稳定及整体工程质量。若支护结构施工不规范、开挖工序不合理、变形监测管控缺位，极易引发基坑沉降、边坡滑移、支护结构变形、管线破损甚至基坑坍塌等安全事故，造成重大经济损失与人员伤亡。本文结合岩土工程与市政施工规范，系统阐述深基坑主流支护开挖关键施工技术，分析基坑施工过程中变形产生的核心诱因，针对性构建全过程变形监测管控体系，提出精细化施工与动态管控对策，旨在提升深基坑工程施工安全性与稳定性，为同类地下深基坑工程施工提供参考借鉴。

【关键词】：深基坑；支护技术；开挖施工；变形监测；质量管控

DOI:10.12417/2811-0536.26.09.001

1 引言

城市土地资源日益紧缺，建筑工程逐步向高空、地下空间延伸，深基坑工程深度、规模、复杂度持续提升，已经成为现代建筑工程施工的重难点环节。深基坑工程具有隐蔽性强、地质影响大、风险系数高、动态变化性强的特点，施工全过程受岩土性质、地下水、施工荷载、周边环境、天气气候等多重因素影响，施工容错率极低。支护体系是深基坑的安全屏障，能够有效抵御侧向土压力、隔绝地下水、防止边坡失稳，而分层开挖工艺直接影响支护结构受力状态，二者相辅相成、密不可分。

当前部分施工现场存在技术应用不规范、开挖顺序混乱、支护施工粗放、监测流于形式、动态调整不及时等问题，导致基坑变形超标、边坡开裂、地面沉降等隐患频发。传统静态施工管理模式已无法适配复杂深基坑工程需求，依托精准施工技术与动态变形监测管控，实现深基坑施工全过程可控、可调、可预警，成为工程安全管控的核心趋势。基于此，本文深入剖析深基坑支护开挖核心施工技术，探究变形产生机理，建立系统化监测管控机制，助力深基坑工程实现安全、高效、标准化施工。

2 深基坑支护开挖核心施工关键技术

2.1 常见深基坑支护核心技术

深基坑支护技术选型需结合场地地质条件、基坑开挖深度、周边建筑物距离、地下管线分布、施工成本及工期要求综合确定，目前工程中应用最广泛的支护技术主要包括排桩支护、地下连续墙、土钉墙支护、

钢板桩支护四类。

排桩支护技术适用于开挖深度 6-15m 的中深基坑，适用性极强，是城市建筑基坑最常用的支护形式。该技术通过钻孔灌注桩、旋挖桩等桩体连续排布形成支护墙体，搭配冠梁、腰梁、锚索形成整体受力结构，具备刚度大、变形小、噪音低、对周边环境干扰小的优势。施工过程中需严格控制桩位偏差、桩身垂直度、桩底沉渣厚度，保证桩体嵌入稳定土层，同时做好桩间土防护，防止桩间土体坍塌渗漏。

地下连续墙支护技术多用于超深基坑、临江临湖基坑、周边重点保护建筑基坑，开挖深度可超 20m。其整体刚度大、防渗性能优异、整体性强，可同时承担挡土、止水、承重多重作用。施工核心要点在于槽段开挖精度控制、钢筋笼精准吊装、水下混凝土连续浇筑，严控接缝防渗处理，杜绝墙体缝隙渗水、漏砂问题，保障支护结构整体稳定性。

土钉墙支护属于轻型支护体系，适用于土质均匀、地下水位较低、开挖深度较小的基坑工程。通过在边坡土体中打入土钉、挂网喷射混凝土，将土体与支护结构结合为整体，利用土体自稳能力实现边坡加固，具备施工速度快、造价低、工艺简单的特点。施工关键在于土钉钻孔深度、注浆饱满度、喷射混凝土厚度及配比控制，同时严格把控边坡修坡平整度，避免局部土体失稳。

钢板桩支护多用于临时基坑、市政抢险基坑及浅水区域基坑，施工便捷、可重复利用、止水效果良好。施工需控制钢板桩垂直度、插打深度及锁口密封性，

避免桩体倾斜、锁口漏水、土体流失等问题，适用于工期紧张、临时支护的施工场景。

2.2 深基坑分层开挖关键施工技术

深基坑开挖必须遵循分层、分段、对称、均衡、限时的核心施工原则，严禁超挖、掏挖、一次性深挖，避免支护结构瞬间受力过载引发变形破坏。首先根据基坑支护设计方案划分开挖层级，每层开挖深度严格匹配锚索、土钉施工标高，通常单层开挖深度控制在1.5-2m，支护结构未成型、强度未达标前，严禁开展下一层土方开挖。

开挖施工优先采用机械开挖配合人工修边的方式，机械开挖预留30cm左右保护层，由人工精细化修整边坡，防止机械碰撞、扰动支护结构及原状土体，避免土体结构破坏、承载力下降。对于大型基坑，采用分段跳槽开挖方式，均衡释放基坑侧向土压力，保证支护结构受力均匀。

土方开挖过程中需同步做好临时排水系统，设置基坑排水沟、集水井，及时抽排积水，防止雨水浸泡基底软化土体，引发基坑隆起、边坡滑移。开挖至设计基底标高后，及时开展垫层、基础施工，减少基坑裸露晾晒时间，降低土体应力松弛带来的变形隐患。同时严格管控基坑周边堆载，禁止在基坑边缘堆放土方、建材、施工设备，规避附加荷载导致的支护变形超标。

2.3 地下水控制配套技术

地下水是引发深基坑变形、渗漏、坍塌的核心诱因，施工中需结合场地水文条件，采用降水、止水、回灌相结合的综合控水技术。对于浅层地下水丰富区域，采用轻型井点、深井井点降水技术，提前降低基坑内地下水位，保证作业面干燥；对于承压水地层，设置止水帷幕阻断地下水渗透通道；基坑周边设置回灌井，平衡基坑内外水头差，防止周边地面不均匀沉降，有效保护周边管线及建构筑物。

3 深基坑施工变形主要类型及产生诱因

3.1 基坑主要变形类型

深基坑施工变形主要分为支护结构变形、基坑边坡变形、周边地表沉降、基坑底部隆起四大类。支护结构变形表现为桩体、墙体侧向位移、倾斜、弯曲变形；边坡变形主要为坡面开裂、局部滑移、边坡鼓胀；周边地表沉降会造成地面开裂、管线错位、道路塌陷；基坑底部隆起多出现于软土地层，表现为基底土体向上凸起，引发结构沉降变形。各类变形相互关联、相互影响，轻微变形累积后极易发展为重大安全隐患。

3.2 变形产生核心诱因

地质条件缺陷是基础诱因，软土、淤泥质土、粉土等软弱土层孔隙大、压缩性高、抗剪强度低，土体自稳能力差，开挖卸荷后极易产生应力变形，是基坑变形高发的主要原因。

施工工艺不规范是人为核心诱因，施工中存在超挖快挖、分层厚度超标、支护施工滞后、注浆不饱满、混凝土强度不足、回填压实不到位等问题，导致支护结构受力失衡，引发侧向变形。同时机械施工扰动、周边堆载超标、施工振动等外力干扰，会加剧土体位移与结构变形。

地下水变化是动态诱因，降水过快、水头差过大、止水帷幕渗漏，会造成土体失水固结、砂土流失，引发地表沉降与支护变形；雨水入渗浸泡土体，会大幅降低土体抗剪强度，诱发边坡失稳变形。

设计与监测管控不足是管理诱因，支护结构设计参数与实际地质不符、支护刚度不足、锚索张拉应力不合理，会导致结构承载力不足产生变形；同时监测频次不足、数据滞后、预警不及时，无法提前预判变形趋势，导致小隐患持续扩大。

4 深基坑变形监测管控体系构建与实施策略

4.1 监测点位布设与监测内容

结合工程规范及危大工程管控要求，建立全覆盖监测点位体系，核心监测内容包含支护结构顶部位移、深层水平位移、周边地表沉降、基坑边坡裂缝、地下水位、周边建筑物沉降倾斜、地下管线变形等。监测点位遵循重点加密、全域覆盖原则，基坑转角、支护薄弱段、临近建筑物区段、管线密集区重点布设点位，保证监测数据全面精准。

施工前期完成监测控制点布设、校准与初始数据采集，建立基准数据库，为后续变形数据分析提供依据。所有监测点位做好防护处理，避免施工机械碰撞、土方掩埋造成点位损坏，保障监测工作连续性。

4.2 动态监测频次与预警标准

根据基坑施工阶段动态调整监测频次：土方开挖阶段、支护施工高峰期、暴雨天气后加密监测，每日监测1-2次；基坑结构成型、施工稳定阶段可适当降低频次，每2-3日监测一次；出现变形增速异常、土体开裂、渗水等隐患时，实施24小时不间断跟踪监测。严格执行三级预警机制，根据规范设定预警值、报警值、极限值。当监测数据达到预警值时，及时排查隐患、加强监测；达到报警值时，暂停土方开挖作业，

采取加固、卸载、控水措施；达到极限值时，立即停工撤离人员，启动应急处置预案，杜绝安全事故发生。

4.3 监测数据信息化管控

建立深基坑监测信息化管理体系，实时录入、整理、分析监测数据，绘制变形速率、沉降趋势变化曲线，动态预判基坑变形发展规律。对比当日数据、累计数据及历史数据，精准识别变形增速异常、突变等隐患，摒弃传统人工记录、事后复盘的滞后管理模式，实现从“事后处置”向“事前预警、事中管控”转变。

安排专人负责监测数据管控，每日形成监测报告，同步报送施工、监理、建设及监管单位，实现多方联动管控，确保隐患早发现、早研判、早处置。

5 提升深基坑施工质量与安全的管控对策

(1) 优化前期勘察与方案设计：施工前期开展精细化地质勘察，精准探明土层分布、地下水水位、岩土力学参数及地下管线分布情况，杜绝勘察数据偏差导致的设计失误。结合基坑深度、周边环境、地质条件差异化选型支护技术，优化支护结构刚度、锚索间距、入土深度等设计参数，针对软弱土层、高风险区段专项优化设计方案，从源头规避变形隐患。施工前组织专家对专项施工方案进行论证，完善危大工程安全管控措施，确保方案科学可行。

(2) 强化施工全过程精细化管控：严格落实分层分段开挖原则，严控开挖厚度、开挖顺序，坚决杜绝超挖、乱挖作业。规范支护施工工序，严格把控原材料进场质量，对钢筋、水泥、管材、锚索等材料抽样检测，不合格材料严禁进场。精准控制钻孔、注浆、混凝土浇筑、锚索张拉等关键工序施工质量，保证支护结构强度、刚度、密封性达标。强化现场工序验收，落实自检、互检、交接检三检制度，监理对关键工序全程旁站监督，未验收合格严禁进入下一工序。规范现场荷载管控，严控基坑周边堆载、施工机械行走范

围，减少外力扰动。

(3) 完善地下水综合治理：建立“降水+止水+排水+回灌”一体化控水体系，根据施工进度动态调整降水速率，避免降水过快引发土体沉降。定期检查止水帷幕、支护结构渗漏情况，发现渗水、漏砂点位及时采用注浆封堵、高压止水等措施处理。雨季提前完善基坑排水设施，做好防雨覆盖，杜绝雨水浸泡基坑土体，保障基坑整体稳定性。

(4) 健全应急处置与运维机制：编制深基坑专项应急救援预案，针对基坑变形超标、边坡坍塌、管线破损、突水涌砂等突发险情，明确处置流程、责任人员与救援设备。定期开展应急演练，提升现场人员应急处置能力。建立常态化巡检机制，每日排查边坡裂缝、支护变形、渗水隐患，结合监测数据动态调整施工方案，实现施工全过程动态管控，长效保障深基坑工程施工安全。

6 结语

深基坑支护开挖施工技术管控与变形监测是地下工程安全施工的核心核心内容，直接关系工程质量、施工安全与周边环境稳定。复杂城市施工场景下，传统粗放的施工管理模式已无法适配工程需求，只有精准掌握排桩、地下连续墙、土钉墙等主流支护技术要点，严格落实分层开挖、控水防渗标准化施工工艺，同时构建全覆盖、动态化、信息化的变形监测管控体系，实现施工全过程可控、可测、可预警。通过优化勘察设计、细化施工工序、强化动态监测、完善应急管控的全链条管理模式，能够有效解决基坑变形、边坡失稳、渗漏沉降等常见问题，大幅降低深基坑工程施工风险。未来工程施工中，需持续结合智慧施工、信息化监测技术，不断优化深基坑施工管控体系，推动深基坑工程施工向精细化、标准化、智能化方向发展，为城市地下工程建设提供坚实的安全保障。

参考文献：

- [1] 住房和城乡建设部.建筑基坑支护技术规程:JGJ120-2012[S].北京:中国建筑工业出版社,2012.
- [2] 王建军,李刚.深基坑支护施工关键技术及安全控制研究[J].施工技术,2023,52(11):89-93.
- [3] 张磊.城市复杂环境下深基坑变形监测与风险管控[J].岩土工程技术,2022,36(04):321-325.
- [4] 刘洪涛.深基坑分层开挖施工工艺及质量通病防治[J].工程质量,2023,31(05):67-70.
- [5] 陈明宇.软土地区深基坑地下水控制及变形规律分析[J].人民长江,2022,53(S1):156-159.
- [6] 赵伟.深基坑工程信息化监测系统应用与研究[J].城市建筑,2024,21(08):190-192.
- [7] 李国梁.深基坑支护结构变形影响因素及防控对策[J].工程建设与设计,2023(16):145-147.