

深基坑工程施工技术与安全控制的新思路探讨

何 飞

中国水利水电第七工程局有限公司 四川成都 610213

摘 要：本文针对深基坑工程施工技术瓶颈与安全控制难题，开展技术与安全控制新思路研究。首先剖析常见施工技术特点及面临的地质适配性、环保性等挑战；随后提出施工技术新思路，包括多结构协同的组合支护新体系、高效节水的降水新方法、环保可循环的绿色材料应用及智能精准的监测技术管控；进而构建安全控制新体系，涵盖信息化与智能化监测、数字孪生辅助智能决策、绿色施工与智能管理融合、风险分级管控与协同响应机制。研究表明，这些新思路能有效解决传统技术局限，提升深基坑施工效率与安全管控水平，为复杂条件下深基坑工程的安全高效施工提供可行方案，对推动地下空间开发领域技术进步具有重要意义。

关键词：深基坑工程；施工技术；安全控制；新思路

引言

随着城镇化进程加速，城市地下空间开发不断向深层推进，深基坑工程规模与复杂度持续提升。传统施工技术在复杂地质条件下，常面临支护结构变形、降水效率低、环保性不足等问题，而安全控制依赖人工监测与经验决策，难以应对施工中的动态风险，易引发周边建筑沉降、坑壁失稳等安全事故。在此背景下，深基坑工程施工技术创新与安全控制体系优化成为行业关注焦点。本文围绕深基坑工程施工技术与安全控制展开研究，先分析当前施工技术现状与挑战，再从组合支护、新型降水、绿色材料、智能监测等方面提出技术新思路，同时构建信息化监测、数字孪生决策、绿色智能管理等安全控制新体系，旨在为提升深基坑工程施工质量、保障施工安全提供理论支撑与实践参考，推动深基坑工程向高效化、绿色化、智能化方向发展。

一、深基坑施工技术现状与挑战

1. 常见施工技术

在深基坑施工领域，众多技术各展其长，发挥着关键作用。排桩支护通过在基坑周边设置钢筋混凝土桩或钢桩，形成连续或间隔的排桩结构，依靠桩身的强度和刚度抵抗土体侧压力，适用于多种土层条件，尤其是基坑深度较大、周边环境复杂的情况，具有施工便捷、安全度高、费用相对较低等优势，但在软土地层中需加强对变形的控制。钢板桩支护采用特制样式的钢板桩，依靠相互连接造就连续的墙体，可有效阻挡泥土和水，施

工简单又迅速，不过单块打入的话容易出现倾斜，壁面的平整笔直度难掌控，一般用于桩长不长、工程要求不高的工程。喷锚网支护利用锚杆、钢筋网和喷射混凝土面板共同作用，增强土体的稳定性，施工灵活，可根据实际情况调整参数，常用于土质较好、地下水位较低的基坑。复合土钉墙跟土钉墙是在天然土体中安置土钉，还跟喷射而成的混凝土面板相搭，形成跟重力挡墙相似的结构，施工省事又省钱，适用于地下水位以上或经降水处理后的粘性土、粉土、砂土等土层。地下连续墙通过专用设备在地面上成槽，然后浇筑钢筋混凝土形成连续墙体，刚度大、强度高，能有效挡土、承重、截水和抗渗，特别适用于狭窄场地和面积、有地下水的深基坑施工。

2. 面临的挑战

深基坑施工犹如在复杂棋局中博弈，面临着诸多严峻挑战。地质条件复杂多变，不同地区的土壤类型、地下水位、岩层分布等差异显著，在城市中心区域，地下管线更是纵横交错，增加了施工风险。施工当中的安全隐患时刻威胁着人员生命以及周边建筑安全，诸如坍塌、滑坡的事故时有发生，后果严重得无法想象。周边建筑物密集时，基坑施工若控制不当，会导致周边建筑物沉降、开裂甚至倒塌。环境影响也不容忽视，施工过程中产生的噪音、振动和扬尘，严重影响周边居民的生活质量；地下水的抽取和排放，可能破坏地下水资源平衡，引发地面沉降等生态问题。施工进度把控面临高难度，深基坑开展建设施工的周期长，天气变动、设备发生故

障、材料供应等方面都可能引起施工延误，影响整个工程的交付日期。成本控制同样是难题，技术要求高、施工难度大，加上材料、人工、设备等费用的波动，使得项目预算难以有效控制，稍有不慎就可能造成成本超支。

二、深基坑工程施工技术的新思路

1. 组合支护新体系

组合支护新体系基于不同支护结构的性能互补原理，突破单一支护形式的适用局限，形成多结构协同承载的支护系统。针对软土地区深基坑易发生坑壁变形的问题，将“土钉墙+微型桩+高压旋喷桩”三者组合，微型桩借助插入深层稳定土层提供竖向抗拔力，高压旋喷桩在坑壁外侧搭建防渗帷幕，土钉墙凭借分层注浆加固坑壁的土体，三者协同将基坑水平位移控制在15mm以内，较单一土钉墙支护位移量减少60%以上。该体系凭借有限元软件开展受力模拟的分析，可按照基坑深度、地质参数对各结构的参数进行动态调整，微型桩直径、土钉间距等，适用于填土、淤泥质土等复杂地质条件下的深基坑工程，在深圳某地铁车站深基坑施工中，成功解决了周边建筑沉降控制难题，沉降值均控制在规范允许的范围内。

2. 降水新方法

降水新方法以“高效降水+水资源循环利用”为核心，创新采用“真空深井降水+管井回灌”联合技术，替代传统单一管井降水模式。此方法是在基坑周边布置真空深井，依靠真空泵形成井内的负压，推动地下水加速向井内聚拢，抽水效率比传统管井的抽水效率提升40%，同时在基坑外侧设置回灌管井，将抽出的地下水经沉淀、过滤处理后回灌至地下含水层，有效补偿地下水位下降，避免周边地面沉降。针对岩溶发育地区降水易引发溶洞坍塌的问题，研发“溶洞填充+定向降水”技术，一开始借助地质雷达探测溶洞位置，以水泥-水玻璃双液浆填充溶洞达成形成隔水层目的，又在隔水层外侧摆放定向降水井，做到针对性的降水，降水效率提升35%，且周边建筑沉降量控制在3mm以内。该方法通过智能控制系统实时监测地下水位，自动调节抽水泵功率，在上海某超深基坑施工中，实现水资源回收率达70%，减少地下水浪费的同时降低施工成本。

3. 绿色与可回收材料

绿色与可回收材料在深基坑施工中的应用，聚焦于支护结构材料的环保性与循环利用价值，突破传统不可降解材料的环境局限。着手可回收式钢支撑体系的研发，

采用低合金高强度钢打造支撑构件，经由螺栓连接组成可拆的结构，基坑施工结束后拆除下来的钢支撑，经过除锈和探伤检测后，可重新用于其他基坑工程，材料回收率达90%以上，较传统一次性混凝土支撑减少建筑垃圾产生量80%。推广环保型支护材料，采用工业固废制备的再生混凝土支护桩，其中钢渣掺量控制在30%以内，粉煤灰掺量 $\leq 20\%$ ，既降低工业固废堆存污染，又减少水泥用量，碳排放量降低15%。研制生物降解型的防渗膜，把聚乳酸作为基材，添加纳米黏土改性剂增进抗渗效果，基坑施工完毕之后可自然降解，避免传统HDPE防渗膜的土壤污染问题，已在杭州某住宅项目深基坑中成功应用，环保效益显著。

4. 基坑监测技术管控

基坑监测技术管控朝着“实时化、精准化、智能化”方向发展，构建“多源传感监测+大数据分析”的智能监测系统。该系统借助在基坑支护结构、周边建筑与地下管线布置多种传感器，达成对基坑水平位移、支护结构内力、地下水位等参数的实时收集。监测数据通过5G无线传输至云端平台，采用机器学习算法对数据进行分析，建立基坑风险预警模型，当监测参数接近预警值时，系统自动触发声光预警，并推送预警信息至管理人员移动端。采用数字孪生技术，构建基坑的三维数字化模型，使实时监测数据与模型实现动态耦合，清晰展示基坑变形的走向，助力管理人员制订应急处理预案。在某超高层项目深基坑施工中，该系统成功提前72h预警基坑支护结构局部应力超标风险，避免安全事故发生，监测数据准确率达98%以上。

三、深基坑工程安全控制的新思路

1. 信息化与智能化监测

信息化与智能化监测突破传统人工监测的滞后性局限，构建全时段、多维度的动态监测网络。此监测模式把多种先进传感技术集成起来，通过在基坑支护结构关键部位、周边建筑物基础跟地下管线沿线安装监测设备，达成对基坑变形、支护结构受力、地下水位变化等关键安全指标的不断收集。监测设备所获取的数据借助无线传输技术实时上传至信息化管理平台，平台具备数据自动校验、异常识别与分类预警功能，能够快速甄别超出安全阈值的监测参数，并以可视化图表形式呈现监测趋势。跟传统人工监测相比照，该模式大幅度缩短了数据获取及分析周期，规避人工记录的误差，可依照监测数据的变化情况动态调整监测频率，确保在基坑开挖关键

阶段能精准捕捉安全风险迹象，为及时采取干预措施提供可靠的数据支撑，有效提升深基坑施工过程中的安全管控时效性。

2. 数字孪生与智能决策

数字孪生与智能决策通过构建与实体基坑高度吻合的虚拟数字模型，实现对基坑施工全过程的动态模拟与安全风险预判。在模型构建这个阶段，整合地质勘察数据、设计参数及施工方案，复原基坑周边地质环境、支护结构体系和周边建（构）筑物的分布情形。施工过程中，将实时监测数据与数字模型动态关联，通过模拟分析不同施工工况下基坑的受力状态与变形趋势，提前识别潜在安全隐患，支护结构应力集中、坑壁失稳等风险。基于模拟结果与历史工程案例数据库，智能决策系统可生成针对性的风险处置方案，包括支护结构加固措施、施工工序调整建议等。该技术还能对突发安全事件进行模拟推演，为应急救援方案优化提供依据，显著提升深基坑安全控制的前瞻性与决策的科学性，降低安全事故发生概率。

3. 绿色施工与智能管理

绿色施工与智能管理将环保要求与安全控制深度融合，通过智能化手段实现施工全过程的安全与环保协同管控。在施工谋划阶段，结合基坑工程特点去制定绿色施工专项方案，厘定噪声、扬尘、废水等污染物的控制标准及安全作业要求。在施工过程中，利用智能传感设备实时监测施工现场噪声分贝、扬尘浓度及废水排放的指标，当监测数据超出限值时，系统自动触发预警并联动控制设备，如启动喷淋降尘系统、调整施工机械作业时间等，在减少环境影响的同时，避免因恶劣施工环境引发的人员安全风险。采用智能管理平台对施工人员资质、机械设备运行状态开展动态校验，保障施工人员按规操作、设备的安全运转。

4. 风险分级管控与协同响应

风险分级管控与协同响应基于深基坑工程不同施工阶段的安全风险特征，构建分层分类的风险管控体系。结合地质方面的条件、基坑深度及施工工艺，对施工全过程进行风险识别，划定各风险等级，针对施工里的高风险环节如基坑开挖、支护结构安装等制定专项管控措施，明确管控责任主体与执行标准；对中低风险环节实施常态化监测与管理，确保风险可控。基于这个基础，形成多方协同响应机制，把建设、施工、监理单位及第

三方监测机构的资源和信息进行整合，依靠统一的信息共享平台实现风险信息实时输送。当发生安全风险预警时，各参与方能够根据预设响应流程快速联动，明确职责分工，如施工单位负责现场应急处置、监理单位监督措施落实、第三方监测机构提供技术支撑，形成高效协同的风险处置闭环，提升深基坑工程安全风险处置效率与效果。

5. 全生命周期安全责任追溯

全生命周期安全责任追溯以“责任可查、过程可溯、问题可究”为核心，构建覆盖深基坑工程勘察、设计、施工、监测、验收全阶段的责任追溯体系。当处于勘察这个阶段，以数字化形式记录地质勘察数据的采集进程，厘清勘察单位及人员对数据真实性承担的责任；设计阶段采用电子签章与版本管控，确保支护结构设计方案的修改轨迹可追溯，清晰界定设计单位对方案合理性的责任。施工进度当中，依靠智能终端实时记录工序交底、材料进场检验、隐蔽工程验收等关键环节相关信息，同步把施工人员和监理人员的操作记录跟签字确认信息关联上，形成全过程数据链。

结束语

本文系统探讨了深基坑工程施工技术与安全控制的新思路，从技术创新到安全体系优化形成完整研究框架。未来，可进一步结合人工智能、物联网等技术，深化新思路的应用场景拓展与精度提升，推动深基坑工程在技术集成化、管控智能化上实现更高突破，为城市地下空间安全开发与可持续发展贡献更大力量。

参考文献

- [1] 戴远志. 房建深基坑工程施工质量安全管理探究[J]. 居业, 2021(11): 186-187.
- [2] 张云腾. 谈深基坑工程施工技术难点及其质量管理[J]. 居舍, 2021(28): 49-50.
- [3] 王伟. 探究建筑工程施工中深基坑支护的施工技术应用[J]. 建材发展导向, 2024, 22(07): 132-135.
- [4] 任向锋, 周广杰, 戚磊, 等. 房建工程深基坑双轴搅拌桩施工技术的应用[J]. 建筑机械化, 2024, 45(05): 93-95+101.
- [5] 赵川, 宋岳, 崔建鹏. 紧邻地铁沿线深基坑工程施工技术研究[J]. 中国设备工程, 2024, (05): 245-247.