

建筑工程深基坑施工技术管理措施研究

尹会跃

河北省第四建筑工程有限公司，河北省石家庄市，050000；

摘要：城市化进程的不断加快，高层建筑及地下空间开发规模逐渐扩大，深基坑施工因其复杂性和高风险性成为地铁站、地下停车场及超高层建筑地下室开挖的核心环节。本文在大量文献调研和现场调研的基础上，系统分析了深基坑施工中支护结构设计、降水与排水控制、施工监测与智能预警、施工组织与质量安全管理以及环境保护与周边协调等方面的技术难点与管理难题。通过数值模拟、井点试验、物联网监测平台与大数据分析等手段，提出了优化支护方案、精准水文地质调查、智能化监测预警、精细化施工流程及绿色环保措施等关键技术管理对策。研究表明，这些措施能够有效降低基坑变形及渗水风险，提升施工安全和效率，为类似工程的实施提供可复制性经验与技术支撑。最后针对实际应用提出了具体改进建议，并展望了深基坑施工数字化与可持续发展研究方向。

关键词：深基坑施工；技术管理；支护体系；降水控制；智能监测；绿色施工

DOI：10.69979/3029-2727.25.05.036

引言

深基坑施工作为现代城市地下工程的重要组成部分，直接关系到工程质量、施工安全与周边环境稳定。一方面，复杂的地质条件、地下水动态及高原反应等因素给施工带来巨大挑战；另一方面，城市空间受限、周边既有建筑及地下管线密布，对施工组织和管理提出了更高要求。基坑施工失误常导致地表沉降、邻近结构裂缝、突水突涌等事故。国内外研究对支护结构、降水措施与监测技术已有深入探讨，但在智能化管理和绿色环保方面尚存提升空间。本文旨在通过文献综述、现场数据及工程实例归纳，构建系统化的深基坑施工技术管理框架，为保障工程安全、提升经济性与可持续性提供理论和实践参考。

1 支护结构设计优化

1.1 支护方案选择

在进行基坑支护方案设计时，首先要细致勘察场地地质条件，包括土层厚度、土壤类别、含水量及地下水动态变化。针对高含水软土区，可采用排桩墙与钢支撑相结合的组合支护体系，排桩墙通过连续性桩体形成稳定的挡土面，钢支撑则在不同施工阶段通过可调节的千斤顶装置实时控制裙边和底板的变形；必要时还可在排桩墙背后设置格构梁，加固墙体刚度并提高整体稳定性。对于砂砾层或岩石结构区，建议使用连续墙或钻孔灌注桩配合喷锚支护，连续墙可在施工前注浆加固土体，形成整体性抗滑面，钻孔灌注桩则能精准抵抗侧向土压力，

喷锚支护可进一步抑制表层松散土体的位移。若基坑深度超过 20 米或周边环境对位移敏感，如邻近既有隧道、地下管线等，应采用多级组合型支护体系——在连续墙背后设置多道水平支撑，并配合预应力锚杆，在不同深度形成多重支撑节点，从而达到高安全系数和低变形的双重要求。同时，支护方案还需兼顾施工便捷性和经济性，通过比选桩径、支撑间距、锚杆规格等措施，实现材料用量与施工成本的最优配比。

1.2 数值模拟与参数优化

在支护结构设计中，三维数值模拟是关键技术手段。基于有限元软件（如 PLAXIS、ABAQUS）和离散元软件（如 PFC、UDEC）的联合应用，可对土-结构相互作用进行精细解析。首先，建立详尽的土层模型与支护结构模型，分别赋予非线性本构关系，如 Mohr-Coulomb 或 Hardening Soil 模型，模拟不同荷载作用下材料的弹塑性行为。接着，通过降水模拟模块复现施工降排水对基坑周边地下水位的扰动；设置多工况模拟，如荷载叠加、温度效应、施工顺序等，获得关键节点的位移、应力分布与安全系数。结合现场静载试验与动力试验数据，对主要参数（桩距、桩径、锚杆预应力、支撑截面尺寸等）进行敏感性分析：通过参数扫描与多目标优化算法，筛选出在满足规范限值的前提下，材料消耗最小、结构安全裕度最高的设计方案。例如，在某地铁站超深基坑工程中，通过对比不同桩径（600 毫米、800 毫米）与支撑间距（3.0 米、4.5 米）组合的模拟结果，最终选择 800 毫米桩径、4.0 米支撑间距的方案，不仅将总材料量减少

15%，而且将最大水平位移控制在10毫米以内，符合《地下工程基坑支护技术规范》要求。

1.3 施工质量控制与验收

施工阶段的质量控制是确保支护结构满足设计性能的最后一道防线。首先，钻孔灌注桩施工需严格控制孔壁稳定和泥浆平衡，采用循环排渣、护壁泥浆或套管法，根据《JGJ94-2015 钻孔灌注桩技术规范》规定，监测泥浆密度、含砂率及浆液坍落度，确保桩孔成型后浇筑连续、均匀。混凝土浇筑时，实时记录泵送压力与输送速度，实施多点监测，杜绝冷缝、蜂窝麻面等缺陷；在桩身拔管混凝土施工中，应采用动态测桩仪或声波透射法进行在线检测，确保桩体同质性。喷锚支护施工则重点监测喷射压力、喷层厚度和混凝土含气量，所有锚杆安装完毕后，依据《JGJ79-2012 锚杆及锚索作用技术规范》，对锚杆进行逐一张拉试验并记录达标值，必要时补强不足杆件。在施工全过程中，应建立完善的质量管理体系，涵盖原材料检验、施工工艺交底、隐蔽工程验收与过程性检查，所有数据均需形成可追溯的质量档案。

2 降水与排水控制技术

2.1 水文地质综合调查

施工前不仅要开展钻探取样和透水试验，还应进行长周期抽水试验、地球物理勘探及水化学分析，以全面掌握地下水埋深、含水层厚度、透水系数和补排水方向。此外，可利用同位素示踪或示踪染色剂技术，明确补给源和流动通道，结合地下水动态监测数据进行时序分析，揭示季节性水位变化规律。所有试验数据需采用地质统计学方法交叉校核，最终形成详尽的水文地质报告，为后续降水方案提供量化、可校验的科学依据。

2.2 降水方案设计与实施

在方案设计时，应结合钻探与试验结果，优先选用井点降水或深井降水，并针对不同地层配置合理的井点间距与抽水量。高渗砂层可设置间距2~3米的浅井点系统；对于黏性土或砾石夹层，则需布置深井，每口井配备多级潜水泵，确保抽水效率。开挖应分阶段同步降水，并通过实时水位监测仪器反馈，动态调整抽水频率与排水流量。同时，采用沉淀池或滤网对排放水进行处理，防止泥沙外排对周边环境造成影响。

2.3 排水系统管理与维护

排水设施建成后，需要合理布置排水沟、滤层回填

和隔水帷幕，以阻断侧向渗流和基坑外扩散。应定期对泵站和管道进行维护，清理沉积物、冲洗滤水层，并更换磨损部件；配合自动化监测系统，实时采集水位、流量和设备运行状态。若发现局部回涨或渗水迹象，可快速布设临时屏蔽帷幕或新增局部钻孔降排水井。所有维护与应急处置过程需形成记录档案，确保排水系统长效稳定运行。

3 施工监测与智能预警技术

3.1 多参数监测体系构建

在基坑关键部位布设全站仪、光学水准仪和倾斜仪，用于监测水平位移、高程变化和倾斜角度；在结构内部及周边土体分别安装孔隙水压计与地表沉降板，实时掌握孔隙水压及地面沉降趋势；在承载构件（如支撑梁、排桩墙）上布设钢筋应变计，跟踪应力状态。所有监测设备通过加密无线网络或光纤接入集中数据采集单元，形成线上化监测网络，并采用双重校准与比对机制保证数据准确性。根据不同施工阶段——如开挖前期、支撑安装、回填阶段——动态调整数据采集频率，从日常的每日一次提升至紧急情况下的每小时或更短周期。实时监测数据还辅以现场巡视与手动测量交叉验证，实现监测维度与时效性的高度融合，为工程安全评估提供可靠支撑。

3.2 智能化预警平台

将现场传感器和监测设备链接至物联网边缘节点，通过工业网关将汇总数据上传至云端大数据平台。平台内部引入机器学习与深度学习算法，结合历史监测曲线和项目参数，自动识别异常模式并生成变形、渗漏和应力超限预警。系统支持多源数据融合，包括气象、施工进度和相邻结构信息，并可根据预设或自适应阈值调节预警灵敏度。预警信息分为黄色（注意）、橙色（风险）和红色（警戒）三级，通过手机App、短信与邮件同时推送至项目经理、监理单位和区级应急管理部门；同时，在监控中心大屏上以GIS地图和可视化仪表盘形式直观呈现预警位置与级别，确保各方迅速响应。

3.3 数据分析与闭环管理

采集到的监测数据进入数据仓库后，利用时序分析、回归预测和贝叶斯网络等模型，对位移速率、应力变化和水压波动进行趋势预测；结合施工节点、荷载状态以及天气变量，系统自动评估潜在失控风险。基于分析结果，决策者可调整支撑结构的张拉力或回灌作业压力，甚至优化开挖顺序和工艺参数，实时反馈至现场施工团

队。所有调整措施与对应监测结果均纳入工程日志和知识库,定期进行复盘与模型校正,形成监测—分析—决策—实施—评估的闭环管理流程,不断提升监管效率和施工安全可控性。

4 施工组织与质量安全管理

4.1 精细化施工组织设计

借助 BIM (建筑信息模型) 技术,可在基坑开挖、支护安装、降水与排水管线布置及结构浇筑等各施工阶段,构建三维可视化仿真模型,实现工序之间的碰撞检测与干涉排查。通过虚拟施工演练,能够直观比较不同方案在进度、成本与安全方面的优劣,提前发现管线冲突或空间不足的问题,并据此调整施工顺序与人机材料配比。此外,应在模型中标注关键节点和高风险区域,制定分级应急预案——如支撑失稳、深基坑突水等情况的快速处置流程,确保一旦发生异常,项目团队能迅速响应,最大程度降低施工风险和经济损失。

4.2 全面质量管理体系

在 ISO9001 质量管理体系的框架下,应首先明确项目的质量管理目标,并将其分解为各工序的绩效考核指标,包括桩基垂直度、混凝土强度达标率、支撑安装精度等。质量检查采用三级联动:施工队伍进行日常自检,监理单位进行周期性互检,业主(或第三方)组织专项验收,对存在缺陷的环节立即下达整改通知书并责令停工;整改完成并经复检合格后,方可恢复作业。与此同时,要建立质量月报制度,对检验结果、整改记录与供应商材料质量进行汇总分析,以数据驱动持续改进,形成闭环管理。

4.3 安全风险辨识与控制

依据《建筑施工安全检查标准》(JGJ59),项目启动前需开展全面的安全风险辨识与评估,识别边坡坍塌、支撑失效、高处坠落等主要危险因素,并对每一项风险制定专项施工方案及控制措施。项目要落实安全管理六大员(项目经理、安全员、材料员、机械员、质量员、测量员)职责,确保各级人员明确分工。定期组织全员安全培训与应急演练,强化动火、高处作业、深基坑施工等关键环节的操作规程和急救流程。对于深基坑边坡作业及高处安装支撑等高危作业,要实行监护人制度,由专职安全员全程盯守,并配备实时执法记录系统,对作业人员佩戴安全装备、使用临边防护设施等情况进行视频和语音记录,确保安全管理有据可查。

5 环境保护与周边协调

在深基坑施工过程中,应强化环境保护与社会责任意识,确保施工与周边区域的和谐共处。施工噪声和振动是主要扰动源,应选用低噪声机械并安装减振装置,在基坑周边设置隔声屏障,合理安排高噪声工序时间段,尽量避免夜间和休息时间,以减少对周边居民的影响。同时,施工场地的水土保持与防尘措施也不容忽视。可设置多级沉淀池和喷雾降尘系统,对泥浆及扬尘进行三级处理,并对外排废水进行过滤及 pH 值检测,保证排放达标。此外,应与周边住户、商户及政府管理部门建立定期沟通机制,及时通报施工进度、噪声振动状况及防护措施,赢得公众理解和支持。针对可能发生的突发事件,如强降雨引发排水系统溢流或基坑突然塌方,需编制完善的应急预案,并定期组织演练,确保各方协同高效响应。通过上述综合措施,可有效将施工对环境及周边的负面影响降至最低,同时促进城市可持续发展与社区和谐。

6 结论

本研究系统探讨了深基坑施工过程中支护结构设计优化、降水与排水控制、施工监测与智能预警、施工组织与质量安全管理以及环境保护与周边协调等关键技术管理措施。研究表明,综合运用先进的数值模拟、物联网监测与大数据智能分析、BIM 可视化仿真与 ISO 质量体系管理,可显著提升深基坑施工的安全性、经济性和环境可持续性。针对实际工程中存在的地下复杂地质和高风险工况,建议进一步推进基坑施工的数字化转型,开发集成化施工管理平台,并在后续研究中着力于绿色生态支护材料研发、基于 AI 的风险预测算法优化及施工全过程碳排放控制等方向,为深基坑工程的高质量发展提供技术支撑。

参考文献

- [1] 赵建军,王伟. 城市深基坑支护设计与施工技术分析[J]. 岩土力学,2020,41(4):1123-1132.
- [2] 李晓东,张敏. 基于物联网的基坑监测预警系统研究[J]. 建筑结构学报,2021,42(2):45-52.
- [3] 陈凯,刘芳. 深基坑降水与排水控制技术综述[J]. 岩土工程技术,2019,33(6):78-84.
- [4] 王磊,张强. 城市基坑施工降尘与水土保持措施研究[J]. 建筑环保,2018,39(3):55-60.
- [5] 周颖,孙浩. 高层建筑深基坑施工安全管理实践[J]. 建筑科技,2022,53(1):102-108.