

深基坑工程开挖支护安全质量控制

王剑君

山西金地源地质科技有限公司 山西 晋中 030009

摘要：深基坑工程是城市地下空间开发的关键环节，其开挖支护安全质量控制直接关系到工程本身及周边环境的安全。本文从开挖支护技术体系、安全质量控制措施、环境影响与保护、质量验收及安全管理长效机制等维度，系统探讨了深基坑工程的安全质量控制要点，旨在为工程实践提供理论指导和技术参考。

关键词：深基坑工程；开挖支护；安全质量控制；环境影响；长效管理

引言：随着城市化进程的加速推进，城市空间向地下拓展的需求日益增长，深基坑工程作为地下空间开发的核心技术环节，在地铁、高层建筑、地下综合体等项目中扮演着关键角色。然而，深基坑工程因其开挖深度大、地质条件复杂、周边环境敏感等特点，存在坍塌、涌水、周边建筑物沉降等高风险。因此，需从地质勘察、支护设计、施工管理到环境监测等多维度综合施策。本文聚焦关键技术环节，提出系统性安全质量控制措施，为工程实践提供参考。

1 开挖支护技术体系与方案选择

1.1 支护结构类型

1.1.1 围护墙

(1) 地下连续墙：特别适用于深大基坑工程。其具备刚度大、止水性能卓越、抗渗性强的显著特点，能够有效控制基坑变形，为基坑施工提供可靠保障。然而，地下连续墙施工成本相对较高，且施工时需占用较大场地，对施工场地条件有一定要求。(2) 钢板桩：施工速度较快，且可重复使用，在软土地层或临时性工程中应用广泛。不过，其刚度较低，通常需结合内支撑体系或锚杆进行加固，以满足支护要求。(3) SMW工法桩（水泥土搅拌桩内插H型钢）：兼具挡土与止水双重功能，适用于软土至中硬土层。该工法经济性较好，且H型钢可回收利用，具有一定的环保和经济优势。(4) 钻孔灌注桩：通过机械成孔、灌注混凝土形成桩体，适用于多种土层条件。其刚度较大，能有效承受土压力，可根据基坑深度和土质情况灵活布置桩径、桩长和桩间距，适应性强，但施工周期相对较长，且对泥浆处理要求较高。

1.1.2 内支撑体系

(1) 钢筋混凝土支撑：刚度大、变形小，特别适用于对变形控制要求严格的工程。但拆除难度较大，且拆除过程中易产生建筑垃圾，需妥善处理。(2) 钢支撑：安装便捷，可施加预应力，适用于工期紧张的工程。不

过，使用时需注意防腐、防火及稳定性问题。

1.1.3 土钉墙与锚杆支护

(1) 土钉墙：通过土钉与土体协同作用提供支护力，适用于浅层基坑或土质较好的场地，造价较低，但对土体自稳能力要求较高。(2) 复合土钉墙：结合土钉与微型桩、搅拌桩等，增强支护刚度，适用于软弱土层或变形控制要求较高的工程。(3) 锚杆支护：通过锚杆与土体锚固提供拉力，适用于空间受限或需要减少基坑内支撑的工程。

1.2 开挖方法与工艺

开挖方法需遵循“分层分段、时空效应”原则，确保支护结构受力均匀，减少基坑变形：(1) 分层分段开挖：根据支护结构强度与土体稳定性，分层厚度一般控制在2-3m，分段长度不超过20m，避免基坑一侧长时间暴露。采用“对称开挖、先撑后挖”工艺，确保支护结构及时受力，减少土体卸荷引起的变形。(2) 机械与人工配合：机械开挖至设计标高以上20-30cm，剩余部分采用人工修整，防止超挖或扰动基底土体。机械选型需考虑场地条件，避免对支护结构造成碰撞或挤压。(3) 时空效应控制：缩短基坑暴露时间，及时施加支撑或锚杆，减少土体蠕变引起的变形^[1]。邻近建筑物或管线侧加强监测，必要时采用超前加固措施（如注浆加固）。

1.3 地下水控制技术

地下水是深基坑工程的主要风险源，需综合采用降水、止水与监测技术：(1) 降水井布置与方案设计：根据土层渗透系数与基坑深度，选择管井降水、轻型井点或真空深井。降水井应布置在基坑外侧一定距离，避免对周边环境造成过大影响，并设置水位观测井实时监测。(2) 止水帷幕：高压旋喷桩，通过高压喷射水泥浆液形成止水柱，适用于砂层、卵石层等透水性较强的土层。深层搅拌桩，利用搅拌机将水泥浆与土体混合，形成连续止水墙，适用于软土地层，但需注意搅拌桩的垂

直度与搭接长度。(3)回灌与监测:在降水影响范围内设置回灌井,维持地下水位平衡,减少地面沉降。实时监测地下水位、周边建筑物沉降与倾斜、支护结构内力等,及时调整降水参数或采取应急措施。

2 安全质量控制关键技术措施

2.1 支护结构施工质量控制

2.1.1 材料检验

(1)钢材:着重检测屈服强度、抗拉强度及延伸率等指标,确保符合设计标准;同时对型钢进行细致外观检查,防止存在裂纹、折叠等缺陷。(2)水泥:严格检验强度等级、安定性及凝结时间,杜绝使用过期或受潮水泥,保证水泥质量达标。(3)锚索:仔细检查钢绞线直径、抗拉强度以及防腐处理情况,保障锚索的锚固性能。

2.1.2 施工工艺控制

(1)成槽垂直度:在地下连续墙施工中,运用成槽机纠偏系统,每5m测量一次垂直度,确保偏差 $\leq 1/300$;槽段接头处利用刷壁器清理,防止夹泥。(2)混凝土浇筑质量:控制坍落度在18-22cm,采用导管法水下浇筑,保证浇筑连续性,顶面高程偏差 $\leq \pm 10\text{cm}$ 。(3)钻孔灌注桩:控制钻孔垂直度,偏差不超过1%;清孔后孔底沉渣厚度,端承桩 $\leq 50\text{mm}$,摩擦桩 $\leq 100\text{mm}$;钢筋笼制作时,主筋间距偏差 $\leq \pm 10\text{mm}$,箍筋间距偏差 $\leq \pm 20\text{mm}$;混凝土灌注时,导管理深控制在2-6m,确保混凝土密实度,避免出现断桩、夹泥等质量问题。

2.1.3 连接节点处理

(1)围檩与支撑连接:采用高强螺栓或焊接方式,焊缝等级不低于二级;严格检查螺栓预紧力及焊缝探伤报告。(2)锚杆锚固段:锚固体直径、长度必须满足设计要求;注浆压力 $\geq 0.5\text{MPa}$,浆液强度 $\geq \text{M20}$,以此确保锚固力。

2.2 开挖过程安全控制

开挖阶段是风险高发期,需通过实时监测、超前加固及应急预案降低事故风险:(1)实时监测:布置自动化监测系统,对围护墙水平位移(警戒值 $\leq 0.3\%H$)、沉降($\leq 0.2\%H$)、支撑轴力($\leq 80\%$ 设计值)及地下水位($\leq$ 基坑底以下0.5m)进行24小时监测。邻近建筑物设置倾斜仪,倾斜率超过0.2%时立即预警^[2]。(2)超前加固:土体加固,对软弱土层采用三轴搅拌桩或高压旋喷桩加固,加固范围 $\geq$ 基坑宽度+2m,深度至基坑底以下3-5m。注浆止水,对渗漏通道采用水泥-水玻璃双液注浆,注浆压力 $\leq 0.8\text{MPa}$,确保止水效果。(3)应急预案:编制坍塌、涌水、管线破坏等专项预案,储备应急物资(如沙袋、水泵、注浆机)。定期组织应急演练,

确保人员熟悉逃生路线及操作流程。

2.3 信息化施工与动态调整

(1)监测数据反馈机制:建立“监测-分析-预警-决策”闭环系统,每日汇总监测数据,分析变形趋势;当变形速率超过2mm/d时,启动预警机制。采用BIM技术建立三维模型,直观展示支护结构受力状态及周边环境影响。

(2)支护参数动态优化:支撑预应力调整,根据监测数据,对轴力不足的支撑进行补张拉,确保支撑体系稳定。降水参数优化,根据地下水位变化,动态调整降水井运行数量及抽水速率,避免过度降水引发沉降。开挖顺序调整,若监测显示某区域变形较大,可暂停开挖,对该区域进行加固后再继续施工。(3)技术实施要点:标准化管理,制定施工工艺卡,明确各工序质量控制标准;对关键工序实行举牌验收制度。人员培训,定期对施工人员进行技能培训及安全教育,提高质量意识与应急处置能力。第三方监测,委托专业机构进行独立监测,与施工单位监测数据对比验证,确保数据真实性。

3 环境影响与周边保护措施

3.1 周边环境变形控制

基坑开挖引发的土体卸荷易导致周边建筑物与管线沉降,需通过技术手段严格控制变形:(1)建筑物与管线保护标准:建筑物,依据《建筑地基基础设计规范》,沉降限值 $\leq 20\text{mm}$ (砖混结构)、 $\leq 10\text{mm}$ (框架结构);倾斜率 $\leq 0.2\%$ 。管线,燃气、给水管线水平位移 $\leq 10\text{mm}$,垂直位移 $\leq 5\text{mm}$;电缆、通信管线需根据产权单位要求设定保护标准。(2)隔断墙与跟踪注浆技术:隔断墙,在基坑与敏感建筑物间设置水泥土搅拌桩或高压旋喷桩隔断墙,宽度 $\geq 2\text{m}$,深度至不透水层以下1-2m,阻断土体变形传递。跟踪注浆,对变形超过预警值的区域,采用袖阀管注浆技术,注浆孔间距1.5-2m,注浆压力0.3-0.5MPa,浆液采用水泥-水玻璃双液浆,确保加固效果。

3.2 地下水扰动与补偿

(1)降水对周边环境的影响评估:采用数值模拟(如PLAXIS)预测降水引起的地下水位下降范围及地面沉降量,评估对邻近建筑物、管线及道路的影响。监测点布置:在降水影响范围内设置水位观测井(间距 $\leq 50\text{m}$)及沉降观测点,实时反馈数据。(2)回灌井设计与运行管理:回灌井布置,在降水井外侧10-15m处设置回灌井,间距20-30m,回灌层与降水层需隔开,避免短路^[3]。回灌水水质,采用符合《生活饮用水卫生标准》的清水,避免堵塞回灌层。运行管理,根据水位监测数据动态调整回灌量,确保地下水位稳定在降水前水平 $\pm 0.5\text{m}$

范围内;定期清洗回灌井,防止淤积。

3.3 施工噪声与振动控制

(1) 机械设备选型与降噪措施:设备选型上,优先采用低噪声设备,如静音发电机、低振动打桩机,噪声限值需 $\leq 85\text{dB(A)}$ 。降噪方面,在设备周边设置隔音屏障,高度 $\geq 3\text{m}$,吸声系数 ≥ 0.7 ;对空压机等高噪声设备搭建封闭式机房,内衬吸音材料。同时,严格把控作业时间,夜间(22:00-6:00)禁止高噪声作业,白天施工噪声应 $\leq 70\text{dB(A)}$ 。(2) 爆破振动监测与防护:在邻近建筑物处安装振动传感器,实时监测爆破引发的质点振动速度,警戒值 $\leq 2.5\text{cm/s}$ 。防护时,采用预裂爆破、微差爆破技术,减少单段起爆药量;在爆破区与建筑物间挖设减震沟,宽度 $\geq 1\text{m}$,深度 $\geq 2\text{m}$,并填充砂石缓冲材料。若监测数据超标,立即停止爆破,调整参数或采用静态破碎技术。

4 质量验收与安全管理长效机制

4.1 质量验收标准与程序

(1) 分项工程验收:支护结构,依照《建筑基坑支护技术规程》,着重检验混凝土强度(偏差在设计值 $\pm 10\%$ 以内)、钢筋保护层厚度($\geq 30\text{mm}$)及锚杆抗拔力($\geq$ 设计值的1.2倍)。运用超声波检测混凝土内部缺陷,保障支护体系完整。降水系统,核查降水井深度($\geq$ 设计值0.5m)、滤料填充质量(级配达标)及排水管网通畅性。通过水位观测井监测降水成效,确保地下水位降至基底以下0.5-1.0m。开挖质量,检查基坑底平整度(偏差 $\leq \pm 20\text{mm}$)、边坡坡度(1:0.5-1:1.2)及基底土体扰动状况。超挖区域用级配砂石回填夯实,压实系数 ≥ 0.94 。(2) 第三方检测与评估:委托CMA资质检测机构,对支护结构变形(监测周期 ≥ 6 个月)、地下水水质(检测pH值、重金属含量)及周边建筑物沉降(警戒值 $\leq 20\text{mm}$)独立评估。利用数值模拟(如FLAC3D)复核支护结构受力,对比实测与计算数据,评估设计合理性。

4.2 安全管理体系建设

(1) 责任制落实:项目经理统筹安全投入、资源配置与应急决策,签订责任书,明晰事故追责条款。技术负责人编制专项施工方案(含应急预案)并组织专家论

证,保障技术可行。安全员每日巡查,记录隐患整改,对深基坑、高支模等重大危险源挂牌督办。(2) 培训与演练:新进场人员接受三级安全教育,考核合格上岗;特种作业人员持证率达100%。每季度开展1次应急演练,模拟坍塌、涌水、火灾等场景,评估响应时间(≤ 15 分钟)、救援效率及物资调配能力。(3) 监督与信息化:安装AI视频监控,实时识别违规行为并推送预警。搭建安全风险分级管控平台,为基坑边坡等高风险区设电子围栏,人员越界即报警。

4.3 长效管理与维护

(1) 基坑回填与监测延续:回填选用级配良好的砂石或灰土,分层夯实,每层厚度 $\leq 300\text{mm}$,压实系数 ≥ 0.95 。永久性基坑(如地铁工程)回填后监测2-3年,关注周边建筑物沉降与地下水位变化。长期运营工程(如地铁隧道)建立“定期巡检+智能监测”机制,借助光纤传感技术实时监测隧道收敛变形,预警值 $\leq 5\text{mm/年}$ 。

(2) 经验总结与技术创新:编制《深基坑工程安全质量白皮书》,总结典型问题及解决方案,形成企业标准。推广BIM+GIS技术,实现三维可视化交底、进度模拟与风险预警;探索地下连续墙智能建造技术,如成槽垂直度自动纠偏系统。

结语

深基坑工程的安全质量控制需贯穿于设计、施工、监测及维护的全过程。通过科学的技术体系选择、严格的质量控制措施、有效的环境保护策略及完善的长效管理机制,可显著降低工程风险,保障工程安全与质量。未来,需进一步探索智能化监测技术、绿色施工工艺及信息化管理平台,推动深基坑工程安全质量控制水平的提升。

参考文献

- [1]潘孙立.建筑工程深基坑支护施工质量控制与安全分析[J].居业,2023,(08):71-73.
- [2]唐春松.建筑工程深基坑支护施工技术 & 质量控制措施[J].工程技术研究,2022,7(13):262-264.
- [3]唐龙.关于高层建筑深基坑施工技术及安全分析[J].陶瓷,2021,(02):98-99.