

深基坑支护体系现场施工工艺及质量控制要点

林锐声

442000*****5195

摘要：深基坑工程是高层建筑与地下空间开发的“先行屏障”，其支护体系的施工质量直接决定主体结构安全及周边环境稳定。当前，随着城市土地资源趋紧，深基坑开挖深度不断突破，传统“经验主导、粗放施工”的模式已难以适配复杂地质与高安全要求。本文系统梳理排桩、地下连续墙、土钉墙及内支撑锚杆四大主流支护体系的施工工艺，聚焦现场关键环节的管控要点，结合材料检验、工序验收与动态监测，提出针对性质量控制措施。

关键词：深基坑支护；施工工艺；质量控制；现场管理；变形控制

DOI：10.64216/3104-9664.25.01.001

引言

深基坑工程是城市地下空间开发的“基础桩”，其安全边界不仅关乎建筑自身，更涉及周边管线、道路与建筑物的稳定。传统施工中，“重开挖、轻支护”“重进度、轻质量”的思维普遍存在：部分项目为赶工期，省略成孔后的清孔步骤，导致桩底沉渣过厚；或为降低成本，选用不合格钢筋笼，造成抗弯强度不足。这些问题暴露出深基坑支护施工的“精细化短板”。本文以“工艺标准化、质量可追溯”为目标，深入拆解四大主流支护体系的施工细节，从材料选择到工序执行，从现场管控到验收标准，逐一明确关键要点。

1 深基坑支护体系的类型与特性

深基坑支护体系需根据地质条件、开挖深度、周边环境综合选型，常见类型包括排桩支护、地下连续墙、土钉墙与内支撑锚杆支护，各类体系的受力机理、施工要求与适用场景差异显著。

1.1 排桩支护：刚性支撑的“基础款”

排桩支护以钻孔灌注桩、人工挖孔桩或预制管桩为主体，通过桩体的抗弯、抗剪性能抵抗土压力，常与冠梁、腰梁及内支撑结合使用。其核心原理是“以桩代墙”，通过连续排列的桩体形成挡土结构。

（1）适用场景：地质条件中等（如黏性土、粉土）、开挖深度 8-15 米的基坑，尤其适用于周边有管线但不需完全止水的场景。（2）工艺特性：钻孔灌注桩因适应性强（可通过调整泥浆参数应对不同土层）应用最广，但施工精度要求高——成孔垂直度偏差需 $\leq 1\%$ ，否则易导致桩间土流失；混凝土浇筑需连续作业，避免冷缝产

生（冷缝会降低桩身整体承载力）。（3）局限性：对软土地层适应性差（易发生缩径），且需额外设置止水帷幕（如水泥土搅拌桩），增加施工成本^[2]。

1.2 地下连续墙

地下连续墙是通过专用设备在泥浆护壁下分段开挖槽段，浇筑混凝土形成的连续墙体，兼具挡土与止水功能。其刚度大、整体性好，适用于深大基坑（开挖深度 >15 米）及周边环境敏感区域（如邻近地铁、医院）。

（1）核心优势：止水性能优异（渗透系数 $\leq 1 \times 10^{-7}$ cm/s），可完全阻断地下水渗透；能承受水平荷载与垂直荷载，减少内支撑数量。（2）工艺难点：导墙施工精度直接影响槽段轴线（导墙顶面标高偏差 ≤ 5 mm）；成槽时需控制泥浆液面（高于地下水位 1.5 米以上），防止槽壁坍塌^[1]；相邻槽段采用锁口管连接时，需确保接口严密（错台 ≤ 5 mm），避免渗漏。

1.3 土钉墙：经济高效的“生态型”支护

土钉墙通过钻孔置入钢筋并注浆，与喷射混凝土面层形成整体，主要依靠土钉与土体的摩擦力维持稳定。其成本低、施工快，适用于非软土地地（如硬塑黏性土）、开挖深度 ≤ 12 米的基坑。（1）复合处理：为适配复杂工况，常采用复合土钉墙——增设预应力锚杆（提高抗滑移能力）、微型桩（增强边坡整体性）或水泥土搅拌桩（改善土体强度）。（2）关键要求：土钉长度需满足“锚固段 ≥ 0.5 倍开挖深度”（如开挖深度 10 米，土钉长度需 ≥ 5 米）；注浆饱满度需 $\geq 95\%$ （可通过注浆压力控制，终压 ≥ 0.5 MPa）；喷射混凝土厚度 ≥ 80 mm，强度等级 $\geq C20$ 。

1.4 内支撑与锚杆支护：空间受限的“解决方案”

内支撑体系通过水平支撑梁（钢管、混凝土梁）与支护桩连接，将土压力传递至支撑立柱，适用于开挖面积大、形状不规则的基坑；锚杆支护则通过钻孔将锚杆插入稳定地层，利用锚固段摩阻力提供反力，多用于场地开阔、无障碍物的区域。（1）内支撑节点：钢支撑与腰梁连接需采用“双拼槽钢+高强螺栓”，确保受力均匀；混凝土支撑需预留浇筑口，避免冷缝。（2）锚杆施工：成孔深度误差 $\leq 50\text{mm}$ ，注浆量需 \geq 设计值的 95%；预应力锚杆的张拉需分两次进行（第一次张拉至设计值的 70%，第二次至 100%），确保锚固力稳定。

2 现场施工工艺关键环节

深基坑支护的施工质量，藏在每一个“细节动作”里——从施工准备到最终验收，每个环节的偏差都可能引发连锁问题。本章聚焦四大体系的核心工艺节点，拆解操作要点与控制标准^[3]。

2.1 施工准备

施工准备是质量控制的第一道防线，需完成“三确认”：（1）地质与设计复核：对照地质勘察报告，确认土层分布、地下水水位与设计参数一致；若发现实际地质与报告偏差超 10%（如出现未探明的软土层），需及时调整支护方案。（2）材料与设备检验：钢材需核查出厂合格证与拉伸试验报告（屈服强度 \geq 设计值的 1.1 倍）；混凝土需检测坍落度（钻孔灌注桩控制在 180-220mm）；设备需调试到位（如钻机的垂直度控制系统、注浆泵的压力表）。（3）人员与方案交底：施工班组需接受“工艺培训+安全交底”，明确成孔、钢筋笼制作、浇筑的具体要求；方案需细化到“每根桩的成孔时间”“每段槽段的浇筑速度”。

2.2 排桩支护施工

排桩的质量核心在“桩身完整性”与“桩位准确性”：（1）成孔：采用旋挖钻机时，进尺速度需控制在 2-3m/h（软土层减半）；泥浆比重保持在 1.1-1.3（黏土层可降低至 1.05），防止塌孔；成孔后需进行清孔（沉渣厚度 $\leq 100\text{mm}$ ），避免桩底承载力不足。（2）钢筋笼制作：主筋连接优先采用机械连接（直螺纹套筒），接头强度 \geq 钢筋母材；箍筋间距偏差 $\leq \pm 10\text{mm}$ ，加密区（桩顶 5m 范围内）箍筋间距 $\leq 100\text{mm}$ ；钢筋笼需设置保护层垫块（间距 $\leq 2\text{m}$ ），确保桩身混凝土保护层厚度 $\geq 50\text{mm}$ 。（3）混凝土浇筑：采用导管法浇筑，导管埋深需控制在 2-6m

（避免拔管过快导致断桩）；坍落度每车检测一次，偏差 $\leq \pm 20\text{mm}$ ；浇筑完成后，桩顶需超灌 500mm（确保桩头强度），24 小时后凿除浮浆^[4]。

2.3 地下连续墙施工

地下连续墙的关键在“止水”与“整体性”：（1）导墙施工：导墙采用 C25 钢筋混凝土，深度 1.5-2m，宽度比槽段宽 0.4-0.6m；导墙顶面需找平（偏差 $\leq 5\text{mm}$ ），作为槽段开挖的基准。（2）成槽与清槽：抓斗需匀速下放，遇硬土层可配合旋挖钻辅助；槽段宽度偏差 $\leq \pm 10\text{mm}$ ，深度偏差 $\leq +100\text{mm}$ ；清槽后需检测槽底沉渣（黏土层 $\leq 100\text{mm}$ ，砂层 $\leq 50\text{mm}$ ）。（3）钢筋笼吊装与连接：钢筋笼采用“十字形吊筋”固定，避免吊装变形；入槽时需对准槽段中心，偏差 $\leq 50\text{mm}$ ；相邻槽段的锁口管需垂直插入（偏差 $\leq 20\text{mm}$ ），浇筑混凝土后及时拔管（终凝后 2-4 小时），确保接口严密。

2.4 土钉墙施工

土钉墙的质量依赖“土钉锚固力”与“面层整体性”：（1）成孔与土钉置入：钻孔角度偏差 $\leq \pm 5^\circ$ （确保土钉与土体摩擦力最大化）；土钉置入后需及时注浆，注浆压力从 0.2MPa 逐步升至 0.5MPa，确保浆液填满孔隙。（2）挂网与喷射混凝土：钢筋网片需与土钉绑扎牢固（间距 $\leq 200\text{mm}$ ）；喷射混凝土需分层进行（每层厚度 $\leq 50\text{mm}$ ），喷嘴与墙面距离 $\leq 1\text{m}$ ，避免回弹料影响强度。

2.5 内支撑与锚杆施工

内支撑与锚杆的核心是“受力传递效率”：（1）支撑安装：钢支撑需设置预拱度（1-2%），避免后期变形；混凝土支撑需留设伸缩缝（间距 $\leq 20\text{m}$ ），防止温度裂缝。（2）锚杆张拉：预应力锚杆需采用“智能张拉设备”，张拉速率 $\leq 0.5\text{MPa/s}$ ，避免应力集中；张拉完成后需锁定（锁定值为设计值的 90%），防止松弛。

3 质量控制要点：从“材料”到“验收”的全链条管控

质量控制是深基坑支护的“生命线”，需覆盖“材料检验-工序执行-验收评定”全流程，每一步都要“留痕、可追溯”。

3.1 材料质量控制：把“不合格”挡在现场外

（1）钢材：进场时需核查“三证”（合格证、检验报告、备案证），并抽样进行拉伸、弯曲试验（屈服强度、伸长率需符合 GB/T1499.2 要求）；钢筋笼的箍

筋间距需逐根检查(偏差 $\leq \pm 10\text{mm}$)。(2)混凝土:商品混凝土需核对配比单(水灰比 ≤ 0.5),现场检测坍落度(偏差 $\leq \pm 20\text{mm}$);试块留置数量按规范执行(每 50m^3 一组),28天强度需 \geq 设计值的115%。(3)锚杆与注浆材料:锚杆采用HRB400钢筋,注浆用水泥需为P.042.5级,水灰比控制在0.45-0.55;注浆体强度需 $\geq 20\text{MPa}$ (7天)与 30MPa 。

3.2 工序质量控制:把“偏差”控制在允许范围内

(1)成孔质量:钻孔灌注桩成孔垂直度 $\leq 1\%$,地下连续墙槽段垂直度 $\leq 0.3\%$;桩位偏差 $\leq 50\text{mm}$,槽段轴线偏差 $\leq 30\text{mm}$ 。(2)钢筋笼与支撑安装:钢筋笼保护层厚度 $\geq 50\text{mm}$,支撑立柱垂直度 $\leq 1\%$;钢支撑与腰梁的螺栓扭矩 $\geq 100\text{N}\cdot\text{m}$,确保连接牢固。(3)混凝土浇筑与注浆:钻孔灌注桩浇筑连续时间 ≤ 2 小时,地下连续墙每段浇筑时间 ≤ 4 小时;注浆量需 \geq 设计值的95%,终压 $\geq 0.5\text{MPa}$ 。

3.3 验收质量控制

(1)隐蔽工程验收:成孔、钢筋笼、注浆等隐蔽工序需留存影像资料,验收内容包括“桩径、孔深、注浆量”等12项指标,合格后方可进入下一道工序。(2)第三方监测:施工过程中需委托第三方进行“支护结构水平位移、周边地表沉降、地下水位”监测,报警值设定为“水平位移速率 $> 3\text{mm}/\text{d}$ ”或“累计位移 $> 30\text{mm}$ ”。(3)终验标准:支护结构完成后,需检测“桩身完整性(I类桩 $\geq 90\%$)、止水效果、支撑轴力(\leq 设计值的80%)”,全部合格后方可开挖下一层土方。

4 常见质量问题与预防措施

深基坑支护的质量问题多源于“工艺疏忽”或“管控不到位”,本章针对四大类常见问题,提出“溯源-预防”方案。

4.1 支护结构变形过大

支护结构变形过大的原因主要是由于开挖速度过快(超过支撑安装速度)、超挖(超过设计标高 0.5m 以上)、支撑未及时闭合。其预防方法应严格遵循“分层开挖、先撑后挖”原则,每层开挖深度 $\leq 2\text{m}$;支撑安装需在开挖完成后48小时内完成;设置“变形预警线”(累计位移达 20mm 时暂停开挖)。

4.2 渗漏

原因是地下连续墙锁口管接口不严密、水泥土搅拌桩搭接长度不足($< 200\text{mm}$)、注浆不饱满。预防方法是锁口管插入时需垂直(偏差 $\leq 20\text{mm}$),拔管时需缓慢(速度 $\leq 0.5\text{m}/\text{min}$);水泥土搅拌桩搭接长度 $\geq 200\text{mm}$,注浆压力 $\geq 0.5\text{MPa}$;对渗漏点采用“双液注浆”(水泥+水玻璃)封堵。

4.3 土钉抗拔力不足

这种问题的原因主要是由于成孔偏斜(偏差 $> 5^\circ$)、注浆压力不足($< 0.5\text{MPa}$)、土钉长度不够。因此需要在成孔时采用“测斜仪”监控(每米检测一次);注浆时采用“二次注浆”(第一次注浆后2小时补注);土钉长度需满足“锚固段 ≥ 0.5 倍开挖深度”。

4.4 支撑节点松动

原因与螺栓扭矩不足($< 100\text{N}\cdot\text{m}$)、焊接质量差(焊缝长度不足)、支撑立柱沉降等有关,对此,要采用“扭矩扳手”检测螺栓扭矩;焊接需符合GB50205要求(焊缝等级 \geq 二级);支撑立柱基础需夯实(承载力 $\geq 150\text{kPa}$),避免沉降。

5 结语

随着技术进步,深基坑支护的施工工艺与质量控制正朝着“智能化、绿色化、标准化”方向发展,深基坑支护体系的现场施工工艺与质量控制,是“技术+管理”的双重考验。本文通过拆解四大主流支护体系的工艺细节,明确了各个施工阶段的关键要点,未来,随着智能化监测与绿色施工技术的普及,深基坑支护将更高效、更安全。工程实践中,需始终坚持“预防为主、过程控制”的原则,将质量控制落实到每一个细节,为地下空间开发筑牢“安全屏障”。

参考文献

- [1]李九江,张晨晨,马杰,等.土建基础施工中的深基坑支护施工技术研究[J].工程建设与设计,2023(24):178-180.
- [2]董艳彬.某宿舍楼深基坑支护施工技术研究[J].建筑技术开发,2025(6):150-152.
- [3]刘忠富.建筑工程中深基坑中支护施工质量管理分析[J].工程设计与施工,2024(4):10-12.
- [4]严达兵.市政工程深基坑支护施工技术研究[J].砖瓦,2024(2):150-152.