

高层建筑逆作法施工技术应用与优化

齐小磊

北京云建城市建设工程有限公司 北京 101500

摘要：高层建筑逆作法施工技术通过自上而下施工顺序，实现地下与地上工程同步作业，有效缩短工期、减少围护结构变形。其核心在于地下连续墙与中间支承柱形成的临时承重体系，结合分层开挖、盆式支护及信息化监测，控制基坑变形。优化方向包括“两墙合一”技术减少材料浪费、装配式预制构件提升施工效率，以及智能监测系统实现动态风险预警，提升施工安全性与经济性。

关键词：高层建筑逆作法；施工技术应用；优化

引言：在城市化快速推进的背景下，高层建筑深基坑施工面临地质条件复杂、周边环境敏感及工期要求严苛等挑战。传统施工方法易引发基坑变形、邻近设施损坏等问题，而逆作法以“自上而下”的逆向施工顺序，结合地下连续墙与中间支承柱的协同受力体系，实现了地下结构与上部主体同步建设，有效缩短工期并控制施工风险。本文聚焦逆作法技术原理、工艺优化及创新应用，为工程实践提供参考。

1 高层建筑逆作法施工技术原理与分类

1.1 技术原理

（1）自上而下施工顺序：打破传统“先地下后地上”的施工模式，先施工地下连续墙、中间支承柱等竖向结构，再开挖一定深度土体后浇筑顶板或楼板。此时楼板可直接替代传统基坑施工中的水平钢支撑或混凝土支撑，承担基坑侧向土压力与水压力；地下连续墙则兼具围护挡土、止水功能与主体结构外墙作用，实现结构功能一体化，减少后期结构施工工序。（2）受力体系转换：施工初期，通过地下连续墙与中间支承柱共同形成临时竖向承重体系，承受上部已施工结构自重、施工荷载及基坑周边土体荷载。随着施工推进，逐步完成底板、楼板与竖向结构的连接，待地下结构整体成型后，临时承重体系逐步转换为永久结构受力体系，确保施工全过程结构稳定性。

1.2 逆作法分类

（1）全逆作法：地下各层结构与上部结构施工完全同步进行，在地下连续墙与中间支承柱施工完成后，开挖地下一层土体并浇筑楼板，随后同时向上施工上部结构、向下开挖下层土体，实现地下与地上工程平行作业，大幅缩短总工期。（2）半逆作法：地下结构按层分段施工，先施工地下连续墙与中间支承柱，开挖地下一层土体并浇筑楼板后，优先向上施工部分上部结构（通

常为2-3层），再向下开挖下层土体并施工地下结构，平衡施工荷载与基坑稳定性。（3）分层逆作法：根据场地地质条件（如软土分层、地下水位变化）划分施工层次，针对不同土层特性调整开挖深度与支护措施。例如在软土层较厚区域，减小单次开挖深度并提前浇筑临时楼板，在稳定性较好的土层可适当加大开挖范围，兼顾施工效率与安全性^[1]。

1.3 适用范围

（1）基坑深度 $\geq 10\text{m}$ 的软土地基工程：软土地基承载力低、沉降量大，传统放坡开挖易引发基坑坍塌，逆作法通过地下连续墙与楼板形成刚性支护体系，有效控制软土侧向位移与基坑沉降，适用于沿海、沿江等软土分布区域的高层建筑。（2）邻近地铁、历史建筑等敏感环境的高层建筑：此类项目对基坑施工变形控制要求极高（通常要求沉降量 $\leq 30\text{mm}$ ），逆作法可将基坑周边土体位移控制在最小范围，避免施工对地铁隧道结构、历史建筑基础造成影响，降低周边环境安全风险。（3）施工场地狭小、工期要求紧迫的项目：城市核心区域施工场地往往受限，无法布置大型施工设备与材料堆场，逆作法无需单独设置水平支撑体系，且实现地下与地上工程同步施工，可缩短总工期30%-40%，满足工期紧张的项目需求。

2 高层建筑逆作法施工技术应用

2.1 中间支承柱体系

（1）支承柱类型：核心选用钢管混凝土柱与钻孔灌注桩+承台组合两种形式。钢管混凝土柱采用Q355级无缝钢管，内径通常为600-800mm，内部浇筑C60自密实混凝土，兼具高强度与抗变形能力，适用于地下3层及以上、荷载较大的项目；钻孔灌注桩+承台组合则以直径800-1000mm的钢筋混凝土灌注桩为基础，顶部浇筑 $1.2\text{m}\times 1.2\text{m}\times 0.5\text{m}$ 钢筋混凝土承台，通过承台与楼板连接

传递荷载,成本更低,适合地下2层及以下中低荷载场景,两种类型可根据结构受力需求混合选用。(2)垂直度控制:依托激光定位技术实现高精度安装,施工时在基坑顶部布设激光垂准仪,将激光束投射至支承柱底部的定位靶心,实时监测柱体垂直度偏差。安装过程中需分三次复核:钢管吊装就位时初校、混凝土浇筑前复校、混凝土初凝后终校,确保最终垂直偏差 $\leq 1/500$,避免因柱体倾斜导致上部结构受力不均。(3)节点连接:通过抗剪环箍与传力钢板优化梁柱节点受力性能。在钢管混凝土柱与楼板连接处,沿柱身间隔300mm焊接3道环形抗剪箍,箍宽150mm、厚12mm,增强柱与楼板的抗剪能力;同时在柱顶设置20mm厚传力钢板,钢板与楼板钢筋有效锚固,使上部荷载均匀传递至柱体,避免节点处出现应力集中,提升结构整体稳定性^[2]。

2.2 地下连续墙施工

(1)成槽工艺:采用机械抓土与人工挖孔相结合的复合工艺。对于土层稳定性较好的区域,使用液压抓斗成槽机按每段6-8m分幅施工,抓斗斗齿间距控制在200mm,确保抓土效率与槽壁平整度;遇到地下障碍物或硬岩夹层时,转为人工挖孔清理,挖孔直径比设计槽宽扩大100mm,每开挖1m浇筑300mm厚钢筋混凝土护壁,全程采用超声波检测仪监测槽壁垂直度,确保偏差 $\leq 1/300$ 。(2)导墙设计:统一采用现浇钢筋混凝土导墙,沿地下连续墙轴线对称布置,单幅导墙长度与成槽分幅一致。导墙深度设定为1.5m,嵌入原状土不小于0.8m,厚度20cm,内部配置双层双向 $\Phi 12@200$ 钢筋网,混凝土强度等级为C30。导墙顶部高出地面200mm,防止雨水与杂物进入槽内,同时作为成槽机与钢筋笼吊装的导向基准。(3)接头处理:采用工字钢刚性接头提升地下连续墙的整体抗渗性与整体性。在每幅连续墙两端预设30a工字钢,工字钢翼缘与墙身钢筋焊接固定,混凝土浇筑时确保工字钢与混凝土紧密结合;相邻槽段施工时,先清理工字钢表面浮浆,再浇筑混凝土形成刚性连接,有效阻断地下水渗透通道,经检测接头处渗水量可控制在 $0.1\text{L}/(\text{m}\cdot\text{d})$ 以下,满足抗渗要求。

2.3 土方开挖与时空效应控制

(1)分层开挖:严格遵循盆式开挖法施工,结合基坑深度与地质条件划分3-4层开挖,每层开挖深度不超过2.5m。开挖时先开挖基坑中部土体,留设宽度2m的盆边土作为临时支护,盆边土坡度控制在1:1.5,待中部楼板浇筑完成并达到设计强度后,再分段开挖盆边土,每段开挖长度不超过10m,通过留设盆边土减少基坑侧向位移,经监测开挖阶段最大位移量 $\leq 20\text{mm}$ 。(2)挖土

机械:选用斗容 $0.5\text{--}1\text{m}^3$ 的小型挖掘机进行土方开挖,配合人工清底作业,避免大型机械对支护结构造成碰撞。挖掘机行驶路线远离地下连续墙与中间支承柱,距离支护结构边缘不小于3m,开挖至基底以上300mm时转为人工清底,确保基底土体不受扰动,同时对机械行驶路径铺设钢板,分散机械荷载,保护已施工结构^[3]。(3)监测反馈:建立实时监测系统,在基坑周边布设20-30个土体位移监测点,采用全站仪与测斜仪进行监测,监测频率为开挖期间1次/天,位移速率超过 $2\text{mm}/\text{d}$ 时加密至2次/天。监测数据实时传输至管控平台,若发现土体位移接近预警值,立即调整开挖速率,必要时暂停开挖并采取回填压载措施,通过动态调整实现时空效应的精准控制。

2.4 差异沉降控制技术

(1)桩身涂布沥青层:在中间支承柱与周边工程桩桩身外侧涂布2-3mm厚沥青层,沥青选用热熔型SBS改性沥青,涂布高度从桩顶至地下水位以下1m。沥青层可减小桩身与周边土体的摩阻力,使相邻桩在受力过程中沉降量趋于一致,经现场测试,涂布沥青层后相邻桩沉降差可缩小至5mm以内,有效控制差异沉降。(2)坑底注浆加固:采用深层搅拌桩结合坑底注浆技术提升土体刚度,减少基坑隆起。在基坑开挖至基底以上1m时,施工直径500mm的深层搅拌桩,桩长6-8m,桩间距1.2m,形成格栅式加固体系;随后在基底布设注浆孔,孔距 $2\text{m}\times 2\text{m}$,采用双液注浆(水泥浆+水玻璃),注浆压力控制在 $0.3\text{--}0.5\text{MPa}$,注浆量为 $1.5\text{--}2\text{m}^3/\text{m}$,加固后坑底土体承载力提升30%-50%,基坑隆起量可控制在10mm以内。

(3)刚性连接体系:在相邻中间支承柱之间设置临时型钢支撑,支撑采用20a工字钢,两端通过连接板与柱体焊接固定,形成整体协同受力体系。临时支撑间距根据柱距设定为6-8m,在地下结构施工期间承担水平荷载与竖向差异沉降产生的附加应力,使各立柱受力均匀,待地下结构底板施工完成并与立柱刚性连接后,再拆除临时支撑,通过该体系可将立柱差异沉降控制在3mm以内,保障结构安全。

3 高层建筑逆作法施工优化策略

3.1 施工工艺优化

(1)“两墙合一”技术:打破传统地下连续墙仅作为临时围护结构的局限,通过优化墙体设计使其兼具挡土、止水与永久承重功能。施工前精准计算墙体受力需求,将地下连续墙厚度从800mm增至1000mm,配置双层双向 $\Phi 20@150$ 钢筋网,混凝土强度等级提升至C40,同时在墙身预留与楼板、底板连接的钢筋接驳器。待地下结构施工完成后,地下连续墙直接作为主体结构外

墙,省去传统外墙砌筑工序,减少钢材、混凝土用量约20%,降低材料浪费与建筑垃圾产生量。(2)预制构件应用:在地下楼板、梁体施工中推广装配式预制构件,构件在工厂标准化生产,包括预制叠合楼板(厚度60mm,预留钢筋搭接长度150mm)、预制梁(截面尺寸300mm×600mm,配置Φ25主筋)。现场施工时,通过塔吊将预制构件吊装至设计位置,采用灌浆套筒连接钢筋,随后浇筑叠合层混凝土(厚度120mm)。相比传统现浇工艺,装配式施工可减少现场模板用量60%,缩短单楼层施工工期5-7天,有效压缩关键线路工期,提升整体施工效率。

3.2 信息化施工与监测

(1) BIM技术应用:依托BIM技术构建高层建筑逆作法全专业三维模型,整合地下连续墙、中间支承柱、楼板等结构构件及管线、设备信息。施工前通过模型模拟开挖、支护、构件安装全过程,重点进行梁柱节点、管线与结构碰撞检测,提前发现并优化设计冲突(如管线与支承柱位置重叠),减少现场返工率。同时,将模型与施工进度计划关联,实现施工进度可视化管控,及时调整资源配置,确保各工序衔接顺畅。(2) 智能监测系统:在基坑周边、地下连续墙、中间支承柱布设多类型传感器,包括位移传感器(监测精度0.1mm)、应力传感器(量程0-50MPa)、地下水位传感器(测量范围0-30m),传感器数据通过5G网络实时传输至监控平台。平台设置三级预警机制(蓝色预警、黄色预警、红色预警),当监测数据超出预警值时,自动向管理人员发送短信与平台告警,实现风险实时预警,避免安全事故发生^[4]。(3) 数值模拟分析:采用PLAXIS3D有限元软件建立基坑开挖数值模型,模拟不同开挖深度、支护参数下的土体位移、结构应力变化。施工前通过模拟确定最优开挖分层厚度(2-2.5m)、支护结构刚度;施工中结合现场监测数据修正模型参数,动态调整开挖速率与支护措施(如增加临时支撑),确保基坑变形始终控制在允许范围内。

3.3 绿色施工措施

(1) 封闭式施工:优先施工地下一层顶板,形成封闭施工环境,顶板采用C30混凝土,厚度200mm,配置Φ16@200钢筋网。封闭环境可有效阻隔施工扬尘扩散,经监测施工现场PM10浓度较传统敞开式施工降低40%-50%;同时顶板能阻挡施工噪音传播,周边区域噪音值控制在55分贝以下,减少对周边居民生活的影响。此外,封闭空间可搭建临时仓储区与加工区,提升场地利用率。(2) 废弃物循环利用:对施工中产生的混凝土碎块、钢筋头、废旧模板等废弃物进行分类回收处理。混凝土碎块经破碎、筛分后加工为再生骨料(粒径5-20mm),用于基坑回填、路基垫层施工,替代天然砂石料,再生骨料利用率可达80%以上;废旧钢筋头通过切断、调直后加工为箍筋、拉结筋,重新用于结构施工;废旧模板经修复、翻新后可重复使用2-3次,显著降低废弃物外运量与资源消耗,减少对环境的影响。

结束语

高层建筑逆作法施工技术通过“自上而下”的创新模式,有效解决了深基坑施工中的工期、安全与环境控制难题。其核心在于临时承重体系与永久结构的无缝转换,结合信息化监测与绿色施工优化,显著提升了施工效率与资源利用率。未来,随着装配式技术与智能监测系统的深化应用,逆作法将向更高效、环保的方向发展,为城市高层建筑建设提供可持续的技术支撑。

参考文献

- [1] 邹磊.逆作法与顺作法在建筑工程施工中的比较与选择[J].工程技术研究,2024,(05):49-51.
- [2] 李文静.逆作法在建筑深基坑工程中应用的重点分析[J].砖瓦,2022,(07):76-78.
- [3] 段博.紧邻地铁岩质深基坑逆作法施工技术与应用[J].建筑施工,2023,(09):88-89.
- [4] 宁雪莲.跳仓施工技术在深基坑工程逆作法施工中的应用分析[J].房地产世界,2021,(10):83-84.