

# 高层建筑工程施工及关键技术研究

余冬冬

广东省构建工程建设有限公司

**摘要：**为解决高层建筑工程面临的施工周期长、基础埋深大、工程量大以及技术要求高等难题，通过针对高层建筑项目施工特征进行梳理，分别围绕深基坑支护施工、基础纠偏施工、结构转换层及模板施工、混凝土施工四个方面进行关键施工技术及应用要点的总结，致力于适应不同建筑结构的现场施工管理要求，为同类高层建筑项目施工技术管理与质量控制工作提供重要参考。

**关键词：**高层建筑；深基坑支护；结构转换层；混凝土施工

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.08.032

**引言：**近年来在建筑产业转型升级形势下，全国建筑业总产值呈现出逐年提升趋势，2021年我国完成建筑业总产值29.3万亿元、同比增长11.04%，其中以高层建筑工程为代表的项目开发与竣工数量占比偏高，证明建筑业的支柱地位仍保持稳固。但与此同时，高层建筑工程质量与安全成为建筑施工领域探讨的热点问题，研究关于高层建筑工程的关键施工技术及其应用要点，对于推动高层建筑项目建设增速及高质量发展具有显著现实意义。

## 一、高层建筑施工特征分析

### （一）施工周期长

根据建筑行业市场统计分析结果可知，多层住宅平均施工周期为10~12个月，而高层住宅施工周期保持在24个月左右，如何实现施工方案选型优化，以此缩短施工周期、节约项目成本成为建筑施工亟待解决的问题<sup>[1]</sup>。

### （二）基础埋深大

为维护建筑结构稳定性，通常将高层建筑基础埋深控制在建筑高度的1/12以上，对于桩基础则将埋深控制在建筑高度的1/15以上，还需根据地基土质进行基础方案的合理选型，保障建筑整体稳定安全<sup>[2]</sup>。

### （三）工程量大

高层建筑施工涉及土方开挖、支护结构、基础换填、支撑系统、钢筋以及混凝土等多个专业及工种的交叉作业，整体工程量大、作业面多，进一步增加现场施工组织与协调管理难度。

### （四）技术要求高

高层建筑工程涉及土建、装饰、消防、防水等多类工程，在结构选型、建筑材料、工程设施以及施工技术等方面均面临多元化选择，对于施工方案编制及现场施工技术管理提出较高要求。

## 二、关键施工技术及应用要点

### （一）深基坑支护施工

#### 1. 喷锚网支护

在前期准备环节，由施工方根据现场施工环境、气候条件与土层结构等因素进行设计文件校核，在保证现场施工安全的前提下完成深基坑支护专项方案的编制。将混凝土喷射机、静音涡旋式空压机、挤压式注浆机等施工机械及配套工具运送至施工现场指定位置，完成设备检查与试运行，调节设备至最佳工艺参数，确保输料管承压能力不小于0.8MPa，且供水管路的喷头水压大于工作状态下风压0.05~0.1MPa<sup>[3]</sup>。

在土方开挖环节，遵循分层开挖原则、实行边开挖边支护，待确认完成首层支护后方可开始下层开挖作业，保证单次土方开挖深度不超过2m；在开挖过程中，严格依据施工方案中预设的边线与坡度进行土方开挖，确保一次开挖到位；针对局部含有岩层区域，基于预裂爆破方案进行邻近边坡部位施工，确认将距边坡边缘部位3m以外岩层进行爆破处理，并将破碎岩石装车外运。在边坡开挖作业前，选定边坡外0.5m处设置明沟排水，将排水设施与市政雨水管网连通，用于拦截地表水渗透；选用C20素混凝土进行表土层的封闭处理，将混凝土层厚度控制在15cm左右，防范上层表土液化引发滑坡事故；在坑底部位设置规格为0.3×0.3m的明沟，沿端部设置集水井，便于后续边坡排水。

在土层锚杆施工环节，预先落实对开挖后边坡的修整处理，依据设计规范搭设临时架体、完成专项验收，留待后续进行钻孔机械的安装及使用；根据现场土层结构与土质特征，锚杆直径选用 $\phi 80\text{mm}$ 孔、孔深 $\geq 6\text{m}$ 、倾角控制在 $15^\circ$ ，选用干法或湿法造孔工艺进行边坡处理，针对锚杆穿岩层部位需预先插入PVC管，再采用湿法工艺进行钻孔，并依据边坡土质控制锚杆入岩层深度，做好施工记录。在锚杆制作环节，选取螺纹钢作为制作材料，在组装前预先落实钢筋平直度检查与表面除锈、清洁处理，基于闪光对焊工艺进行锚杆钢筋接长，并选用 $\phi 10\text{mm}$ 钢筋弯曲制成对中支架，沿锚杆直线方向以2m为间隔进行支架布设，对于土层、岩层等不同区域需分别控制支架沿水平、垂直方向对称，其中垂直对称布置的支架应保证下层同比两侧高10~20mm左右，并将支架与锚杆进行焊接固定。待完成锚杆制作后进行材质检验，将未设有对中支架一侧朝上安放，将锚杆连同注浆管置于预先开设的孔洞内，使注浆与底部距离至少保持在5~10cm以内，并将锚杆与锚头焊接牢靠。

在锚杆注浆环节，选用P042.5普通硅酸盐水泥、含

砂量 $\leq 3\%$ 的细骨料与城市生活用水等作为原材料,将水灰比控制在0.4左右,掺入适量三乙醇胺添加剂增强水泥砂浆的早期强度,依据设计配合比1:2进行砂浆均匀拌合,确保在初凝前完成注浆作业,并在注浆结束后选用清水进行注浆泵及管路的清洗。为落实边坡防渗处理,选用 $\phi 8\text{mm}$ 钢筋以200mm间距搭接制成钢筋网,待将钢筋网调直后沿壁面铺设至距岩面 $\geq 3\text{cm}$ 处,避免出现钢筋锈蚀问题;在钢筋网与锚头接触部位增设 $\phi 8@100\text{mm}$ 、宽600mm的矩形钢筋网,将钢筋网压入锚头底部,具有补强效果,并将边坡处的钢筋网铺设长度延伸至距地面1m处后,浇筑混凝土,将混凝土层厚度控制在100mm左右,起到有效防渗效果。

在喷射混凝土环节,依据设计配合比进行水泥、砂石等材料的选型与搭配,将水泥、砂、石的重量比控制为1:2:2,水灰比为0.4,速凝剂掺入量为水泥总量的3%,确保混凝土均匀拌合、颜色一致,且掺入速凝剂后现场存放时长 $\leq 20\text{min}$ ;在混凝土喷射环节,将喷头处的工作风压控制在0.1~0.12MPa范围内,沿受喷面垂直方向间隔0.8~1m处进行喷头安放,依据自上而下方向、螺旋状控制喷射移动,以一圈压半圈形式进行作业面均匀喷射,将初喷厚度控制为3cm,用于维持壁面稳定性、防范出现松散土块塌落现象;待铺设钢筋网后,按层厚5~7cm进行混凝土复喷,对于搭接部位采用斜交搭接形式,将搭接长度控制在混凝土层厚度的2倍左右;针对局部出现塌方或超挖区域,选用钢筋网搭配较短摩擦式锚杆进行修补,并与完好部位进行有效连接;待确认喷射混凝土进入终凝状态后,间隔2h进行表面洒水养护,且养护时长不得小于7d。

## 2. 钢筋混凝土挡墙

采用逆作法进行挡墙施工,将 $\phi 8@200$ 钢筋以双层双向形式布置,肋柱纵向钢筋规格为6 $\phi 20$ ,选用C30普通混凝土材料,掺入4%膨胀剂,使混凝土坍落度控制在130 $\pm$ 10mm以内;模板材质为18mm厚双面覆膜胶合板,选用规格为50 $\times$ 100mm木方作为背枋,完成挡墙施工原材料准备工作。待完成土石方开挖、边坡修整作业后,按设计配合比进行挡墙钢筋施工,将分段肋柱钢筋长度加长200mm,便于与相邻段钢筋进行焊接固定;将首段钢筋顶端延伸至距地面1m处,采用后浇混凝土工艺进行表面土层的封闭处理;沿肋柱钢筋底部连接聚苯板,用于支撑200mm左右高度,便于与相邻段钢筋进行焊接处理,并在底部设置240mm水平弯锚,待确认完成下段土层开挖后将钢筋调直,与相邻段钢筋进行绑扎、搭接处理。

当钢筋混凝土挡墙施工过程中出现挡墙倾斜、地面开裂等特殊状况时,需及时采取抢险处理措施,暂停拆模作业,安排施工人员撤离作业面至少6m以外,在墙体侧方架设钢筋斜撑,使斜撑上口顶立挡墙的水平圈梁下口,延缓挡墙向内倾斜速度;随后在深基坑施工范围内选择恰当区域,沿地表土层深度2m处打入钢管,并选

用 $\phi 16\text{mm}$ 钢丝绳与 $\phi 25\text{mm}$ 插筋连接组成水平锚固体系,配合花篮螺丝调节挡墙直至恢复原位;针对地表开裂部位选用注浆工艺进行处理,并在局部铺设钢筋网、浇筑C30混凝土,完成裂缝修复后方可恢复正常施工及交通。在施工监测环节,现场每间隔20m布设1个测点、实行每日3次观测,待确认边坡稳定后将观测次数调整至每1~3d进行1次观测,将基坑位移量控制在基坑深度的2.5%以内,且水平、垂直方向位移量分别控制在50mm和500mm以内,保证深基坑支护施工质量与安全。

## (二) 基础工程施工

在高层建筑基础施工环节,根据场地地形、地基承载力等因素进行基础方案设计与优化,落实场地回填处理,常用基础包含灌注桩、预制桩两类,确保兼顾高层建筑使用功能及地下室、停车场等配套设施建设需求。部分高层建筑在实际施工环节出现倾斜值、沉降数据超限情况,将严重影响建筑使用功能及安全,对此需落实纠偏施工技术管理,其关键工艺包含以下内容:

(1) 采用顶升施工方案,引入一体化顶升系统进行泵站、千斤顶等施工机械的统一控制,待完成机械设备连接后,落实置换桩施工终孔与桩端岩性检查,将高层建筑主体部分与地下室之间的后浇带及连接钢筋切除,保留顶升量不足30mm的钢筋,用于保持顶升过程中建筑结构的整体稳定性,并落实对地下室外围、筏板区域内填土的清理<sup>[4]</sup>。(2) 实行分区加压预顶,将加压数值控制在设计荷载的1.3倍左右,并逐桩检查是否存在桩基不稳问题,采取送桩至标高等措施保障桩基稳定性,增强桩顶的抗压能力。(3) 在顶升作业过程中,根据位移控制要求实施分级加载方案,各级加载完毕后稳定15min,并在顶升筏板与置换桩体之间增设钢垫板,起到结构保护作用;将实际顶升力与理论差值控制在20%以内,在顶升过程中动态调节速度与距离,保证在顶升过程中剪力墙实现均衡受力,减轻结构损伤,并将顶升过程中因钢板间空隙导致的下沉量控制在0.1%以内。(4) 在纠偏顶升施工结束7d内,需严格落实建筑沉降量的检测,确保建筑沉降稳定、置换桩具备足够支撑力,并按水灰比0.9配制微膨胀水泥砂浆进行筏板、地基间缝隙的填充处理,保证密实度达标。

## (三) 结构转换层及模板施工

### 1. 支撑系统搭设

由于高层建筑中不同功能区域对于结构设计提出差异化要求,因此需引入转换层进行不同功能区的衔接处理,维护整体建筑结构安全性。当前高层建筑工程中常用转换层包含梁式、箱式、厚板式、桁架式四种基本类型,依托“墙或柱 $\rightarrow$ 转换梁 $\rightarrow$ 墙或柱”的传力方式传递作用力,以梁式转换层结构为例,需预先完成定位放线,参考支撑立杆平面图进行立杆搭设,按纵下横上的形式在立柱底距地面20cm处架设扫地杆,核对步距、横/纵距、垂直度等参数,并严格控制立杆接头的对接质量,尽量减少竖向接头用量、防范出现搭接现象,保证

搭接接头整体的稳定性。

采用满堂支架法施工，其工艺要点包含以下几个方面：（1）在水平拉杆安装环节，预先对拉杆尺寸进行校核，保证拉杆长度不小于4跨；将相邻拉杆的对接扣件以交错形式设置，将扣件搭接长度控制在50cm以上，并以等间距进行旋转扣件的固定处理，确保各扣件与拉杆端部距离不小于10cm，且拉杆末端伸出扣件的距离 $\leq 10$ cm。（2）在剪刀撑设置上，参考图纸分别沿水平、垂直两个方向设置剪刀撑，依据立杆和垂直、水平两个方向上水平杆的搭设顺序同步布设剪刀撑，并按不小于1m的长度进行斜杆搭接，完成3个等间距旋转扣件的安装固定；以垂直方向布置的剪刀撑斜杆为基准，将与斜杆交接部位的水平杆伸出端借助旋转扣件进行固定连接，完成剪刀撑搭设。（3）在顶托安装环节，将顶托伸出端长度控制在200mm以内，将支撑受力杆件居中布设，并借助木楔将其卡紧，实现结构可调。（4）在扣件安装环节，选用扣件进行立杆、水平杆等各节点处的连接，将扣件以不小于 $45\text{N}\cdot\text{m}$ 的扭力矩进行拧紧固定；以立杆为基准，确保两相邻对接扣件的高度差不小于50cm，并将扣件与主节点的长度控制在其高度的 $1/3$ 以内，以此完成水平杆上扣件的对接与固定处理。（4）待完成满堂架搭设后，需对其允许偏差进行校核，确保立杆的垂直度偏差不超过架体高度的 $1/500$ 、偏差最大值控制在 $\pm 50\text{mm}$ 以内；将水平杆间距的允许偏差控制在 $+50\text{mm}$ 以内，水平度偏差不超过 $\pm 50\text{mm}$ 。

## 2. 高大模板施工

在模板施工环节，完成施工场地平整度与基础、框架等参数校核，待做好测量放线、标高控制工作后，选用20mm厚胶合板作为梁侧模和底模，将方木的 $100\times 100\text{mm}@400$ 、 $50\times 100\text{mm}$ 分别作为主楞和次楞；利用M12对拉螺栓进行梁侧模固定，将梁底至首根对拉螺栓的间距控制在300mm左右，且沿梁长度方向依据350mm间距进行对拉螺栓布置，完成梁模与顶板支撑结构的连接。在后期拆模环节，需严格控制拆模力度，待完成非承重部分模板的拆除作业后，再开展后续模板的拆除、修复及养护处理，并存放在专门位置，确保模板后续仍可重复使用。

## 3. 钢筋施工

将钢筋插入结构转换层梁内的深度控制在 $1\sim 1.5\text{m}$ 左右，在浇筑混凝土前完成大梁钢筋绑扎与固定、清理工作，避免影响钢筋施工质量。在绑扎钢筋环节，需提前在搭设临时钢管支架环节预留钢筋位置，利用剪力墙钢筋进行梁、板面定位钢筋的固定安装，防止在后续混凝土施工环节出现钢筋偏移问题；在转换梁自重较大的情况下，需额外选用长150mm的钢筋依据横距300mm、纵距1000mm呈梅花状布置，充当混凝土保护层。

## （四）混凝土施工

### 1. 混凝土浇筑与振捣

在叠合梁施工环节，按结构转换层梁高的 $1/3\sim 1/2$

控制混凝土浇筑高度，遵循“框支柱、剪力墙、转换梁底”、“转换大梁”、“转换层剩余板、柱、梁”的顺序分3次进行混凝土浇筑作业。在混凝土泵送环节，选用粒径为 $4.5\sim 31.5\text{mm}$ 的粗骨料、掺入减水剂的水泥等作为原料进行混凝土均匀拌合，将混凝土初凝时间控制在 $3\sim 4\text{h}$ 左右，并确保混凝土坍落度不超过180mm。在混凝土浇捣环节，预先做好模板清理、洒水使表面润湿，实行混凝土的分层浇筑作业，基于快插慢拔原则将振捣棒插入混凝土深度控制在50mm以上，避免出现层间分离、泌水等现象，待观察到翻浆、混凝土不下沉、无气泡冒出后，即可完成混凝土振捣工作；参考标高控制线，在预留插筋500mm部位进行弹线，用于开展混凝土收面工作，确保混凝土表面平整度达标；待完成楼板表面的二次收水后，选用木抹子将楼板表面搓平，促进收水裂缝闭合。

### 2. 混凝土养护作业

待完成混凝土浇筑、振捣作业后，需及时选取塑料薄膜覆盖在转换梁的底模、侧模表面，起到延缓散热、增强保水性作用，将混凝土内外温差控制在允许范围内；在混凝土温度检查环节，以转换层平面为基准布设若干测点，在各测点处分别安装传感器与测温探头，在温升前期每间隔2h测量一次，待混凝土温度下降后每间隔4h测量一次，并于后期间隔 $6\sim 8\text{h}$ 进行混凝土温度测量，严格将混凝土温差、 $7d/28d$ 抗压强度控制在允许范围内，并将混凝土层表面的平整度、垂直度偏差分别控制在3mm和2mm以内，保证测量结果符合混凝土工程验收要求<sup>[5]</sup>。

## 结论

总体来看，通过全面梳理深基坑支护、基础工程纠偏、结构转换层与模板、混凝土施工的关键技术要点，能够为同类高层建筑施工管理及质量控制工作提供重要示范经验。在此基础上，未来还需持续引入新材料、新工艺进行高层建筑施工技术方案创新，确保在满足建筑使用功能的同时兼顾外形美观、材质环保、施工安全、成本经济等性能优势，并结合建筑幕墙、外墙装饰、节能环保建材应用等进行工艺技术的系统革新，更好地推动高层建筑施工领域发展。

## 参考文献

- [1] 沈丽红. 高层建筑工程施工及其施工技术的进展[J]. 装饰装修天地, 2021, (14): 218.
- [2] 姚明成. 高层建筑工程施工中桩基础施工技术探讨[J]. 居舍, 2020, (03): 35.
- [3] 周扬. 装配式建筑施工技术在建筑工程施工管理中的应用[J]. 数码设计, 2021, (03): 83.
- [4] 赵洪贞, 范兴振. 高层建筑工程后浇带施工技术应用[J]. 中国建筑装饰装修, 2021, (05): 106-107.
- [5] 窦长德. 高层建筑工程电气施工技术要点及质量控制措施分析[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2020, (13): 72.