

武汉绿地中心超高层建筑施工技术

王 震, 刘 芳

WANG Zhen, LIU Fang

(中建三局第二建设工程有限责任公司, 湖北 武汉 430000)

[摘 要] 本文以武汉绿地中心为例, 从模架系统、垂直运输、砼泵送、测量与监测、BIM 应用几个方面对超高层施工技术的发展与应用做了阶段性总结, 尤其在结构施工装备和技术措施方面展示了超高层施工技术发展的前沿状况及进一步研究方向。

[关键词] 超高层建筑; 施工技术; 施工装备

超高层建筑是经济发展、技术进步的产物, 各大城市不断出现新的在建超高层, 高度越来越高。超高层建筑高度的不断增加是建立在一系列科技进步的基础上的, 如建筑材料的更新换代、施工装备的发展和工艺的革新等。施工技术的发展是实现设计意图和建筑功能, 确保施工安全、高效的重要保障。以武汉绿地中心工程为例, 浅谈几项重要的施工技术发展和应用情况。

1 武汉绿地中心工程简介

该工程位于武汉滨江商务区的核心区, 由超高层主楼、办公、公寓辅楼和商业裙楼组成, 总建筑面积 72.86 万 m^2 。其中超高层主楼地下 6 层, 地上 120 层, 高 636m, 以武汉特有的“两江三镇”理念设计为三角状双曲面造型。

武汉绿地中心建筑结构采用钢板剪力墙核心筒 + 伸臂桁架 + 劲性巨柱的形式, 顶部为 60m 高空间管桁架结构的双层塔冠 (图 1)。

2 模架系统

高层建筑施工的模板、架体随着施工技术的革新, 已有了丰富的多样化发展。由早期的散拼木模到整拼大钢模, 到提模、翻模、滑模、爬模, 到如今的低位顶升模架系统, 在施工进度、质量、安全各方面均有了较大的提升。

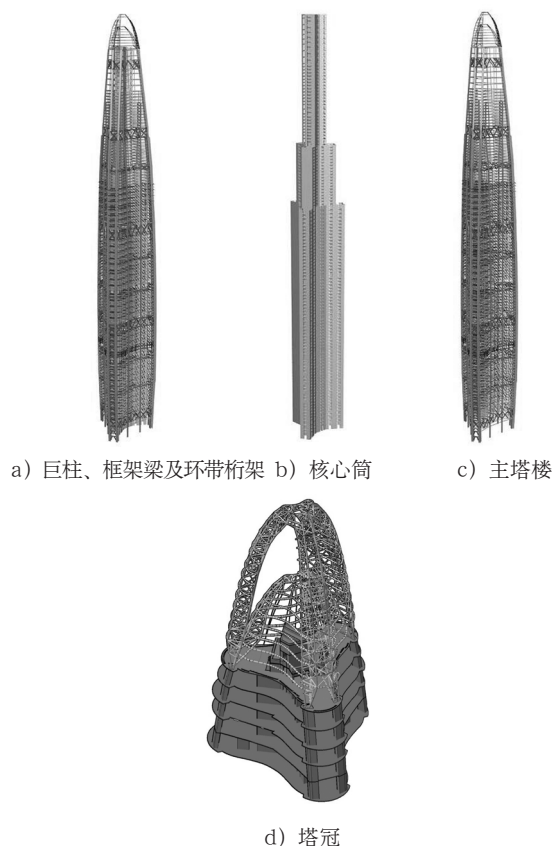


图1 武汉绿地中心结构形式

武汉绿地中心工程采用了由中建三局自主研发的第三代微凸支点顶升模架系统。它由桁架钢平台、立柱、支撑架、承力件、悬挂铝模板、操作挂架及电控液压系统组成, 并集成了一台 ZSL380 动臂式塔机固定其上, 免去塔机的单独爬



图2 微凸支点顶升模架系统

升, 此为全球首例, 且监测其应用状况良好, 后续将逐步实现主力塔吊的整合。整个顶模系统含施工荷载约 2000t, 由 12 个油缸提供合计 4 200t 的顶升力。

与前一代低位顶模不同的是, 液压千斤顶设置在核心筒外围, 大大提高了抗侧刚度和整体稳定性, 顶模自身结构体系的无损风力范围提升至 14 级。同时, 在支撑架和微凸支点承力件的配合下, 作用于核心筒的荷载不再是集中点荷载, 而是分布于 2 个层高范围的均布荷载, 简化了结构自身加固措施。

顶模系统的主要作业面, 即操作挂架系统, 覆盖 4 个标准层, 形成竖向流水作业, 施工进度达 4 天 1 层。

3 垂直运输

垂直运输历来是超高层建筑施工的“生命线”, 就施工装备来说仍然离不开塔机和施工升降机。

3.1 塔式起重机

该工程除集成于顶模平台的塔机外, 另布置 3 台动臂式塔机。其定位综合考虑了结构形式特点、构件起吊及安装距离、塔机相互装拆距离和起重量, 以及群塔作业需要的安全距离和高差等因素。

由于核心筒 2 次内缩带来的较大变化, 塔机基础形式将出现内爬、外挂等多种变化, 并在第 2 次结构内缩后由外筒向内筒转换, 中间需要一

次独立基础的过渡。在顶部 60 米高双塔冠施工期间, 考虑对双曲面钢结构体系的避让, 将另外分步骤安装中小型外挂塔机, 既满足塔冠安装需要, 又满足塔机分级安全拆除的需要。如今, 塔机安拆技术的发展已能适应各种结构形成的建筑施工。

运行管理方面, 一是系统策划各塔机的作业任务分工, 对复杂吊装工程, 借助 BIM 模拟手段使各塔机高效安全运行; 二是严格的管理制度, 控制吊物数量、重量、索具紧固、分时交接、安全指挥和警戒、天气影响的各个环节; 三是利用科技手段, 增设软硬件设施, 避免塔机司机疲劳作业。

3.2 施工升降机

该工程先后陆续布置 10 台施工升降机, 其中 1-7 号布置于核心筒内, 8-10 号布置于建筑外侧。在不同施工阶段, 随着幕墙、机电、装修工程由下至上的陆续插入, 垂直运输的需求逐步增大, 大量施工作业面的逐渐上移, 以及正式升降机由下至上的安装作业面需求, 分阶段进行施工升降机的安装。

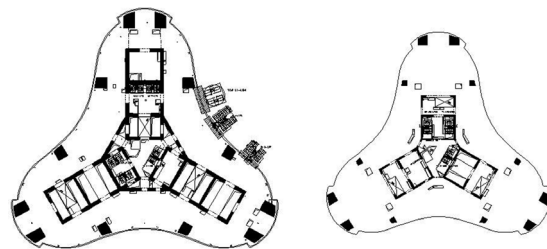


图3 施工升降机的布置

其中, 1 号施工升降机为直达顶模平台的专用电梯。由于顶模操作挂架覆盖 4 个作业层, 影响施工升降机常规附着间距, 在顶模系统设计中专门考虑了吊柱为 1 号施工升降机上部提供一定距离的滑动附着。由于常规施工升降机的一次安装高度有限, 在 56 层设置中转层, 后期 1 号施工升降机仅负责 56 层至顶部的垂直运输。

9 号施工升降机布置于建筑外侧, 根据幕墙单元板块尺寸及运输方式, 特别设计 5×1.8m 大尺寸梯笼, 作为幕墙单元板块运输的指定施工升降机。

10号施工升降机为中建三局自主研发的单导轨架多笼循环运行施工升降机。该施工升降机借用城市轨道交通的设计理念,将多部梯笼安装于同一个导轨架,通过设置旋转节用于梯笼水平旋转,实现多部梯笼的循环往复运行,减少等候时间,既提高运输效率,又减少了空间占用;通过设置竖向卸载附着架,解决了荷载增加的问题;通过设置分段式滑触线供电,解决了电缆式供电无法旋转的问题;通过设置多级安全控制系统,保证了多部梯笼的同步安全运行。



图4 单导轨架多笼循环运行施工升降机

4 混凝土设计与泵送

在超高层建设垂直运输中,混凝土的垂直运输是其中重要的一环,随着高度的增加,泵送所需压力大幅度增加,将面临四个方面的问题:

- 1) 泵送压力满足泵送需求,泵管密闭及耐磨满足高压泵送需求;
- 2) 所设计的混凝土满足高压泵送的工作性能,如流变性、粘聚性、保水性、抗离析性能等;
- 3) 经高压泵送后的泵管出口处混凝土满足设计和规范要求,如坍落度、扩展度等;
- 4) 在满足上述技术要求的基础上保证不出现堵管现象。

我国现有的混凝土输送泵已能提供最大50MP的泵送压力,配合泵管密闭及耐磨技术的发展,理论泵送高度已近700m,满足“一泵到顶”的需求,避免二次转运,缩短混凝土浇筑时间,更好的保证其质量。

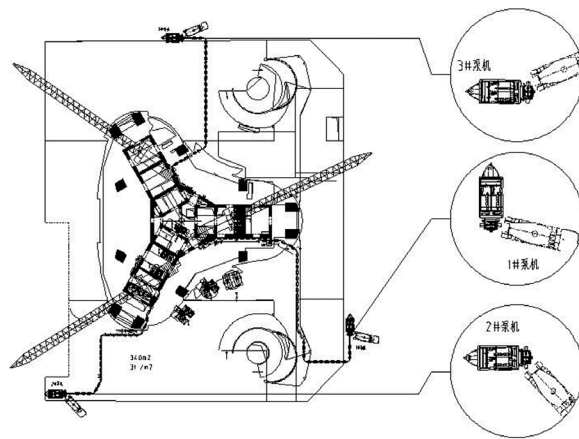


图5 超高压泵管布置图

竖向结构混凝土标号较高,需满足高性能高强混凝土的要求,在配合比设计中除满足强度的基础配合比外,重点关注减水剂、外加剂的选用和配比,确保其工作性能需求,并要随施工高度的增加和季节变化作适当的调整。

水平结构通常设计标号较低,由于低标号混凝土的水胶比偏大,浆体稳定性不高,在高压泵送中易离析且导致较高的堵管风险。根据经验统计,200m以上高度的泵送混凝土的强度不宜低于C40。

关于泵管布置,超高泵送的水平段与竖向段比例以1:3至1:4为宜,同时在竖向段设置缓冲弯头。中建三局正在进行泵管润滑、泵管应力应变监测等研究,有望尽早实现数字化控制手段,杜绝超高泵送的堵管问题。

5 测量与监测

测量与监测技术的发展,重点体现在仪器、工具的革新上。超高层结构对垂直度、井道直线度等要求较高,以及复杂的管线综合布置对定位的精度要求较高。而传统的测量仪器已存在一定的局限性。武汉绿地中心工程在卫星定位、三维扫描、测量机器人、无线传输监测等方面取得了较好的应用效果。

5.1 北斗卫星定位测量

在测量控制线投点上,传统的激光铅垂仪依然适用,但有一定的局限性,如转点时投测距离过长,光斑较大,精度降低;又如超高层上部的摆动导致测量工作在非连续作业下将出现较大的

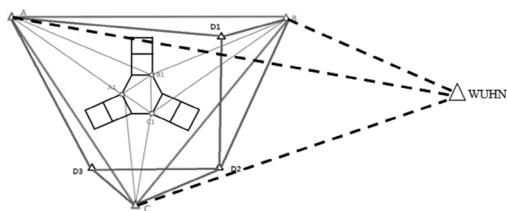


图6 GNSS网形布设

误差,加之高处云雾的出现时常造成对测量工作的影响。而卫星定位由于无需通视、没有累积误差、几乎不受天气影响等优势,在超高层测量上有很好的适用性,目前已在核心筒及外框柱端测量控制中得到良好应用,且通过修正系数研究,已解决法线垂线偏差问题,精度达毫米级,并与传统测量复测结果非常吻合。



图7 卫星定位测量基站

5.2 三维扫描

超高层井道长度增加,导致电梯安装对直线度要求较高。传统的复测验收通常采用吊线法,费时费力,且无法早期穿插进行。三维扫描设备的出现很好的解决了这一问题。通过分段式扫描及简单的后期处理,即可在短时间内完成井道直线度的验证。由于是分段式作业,不受上部结构施工的影响,可早期插入,及时进行缺陷处理。

在多节点复杂网壳结构的验收复测上,三维扫描同样发挥了重要的作用。

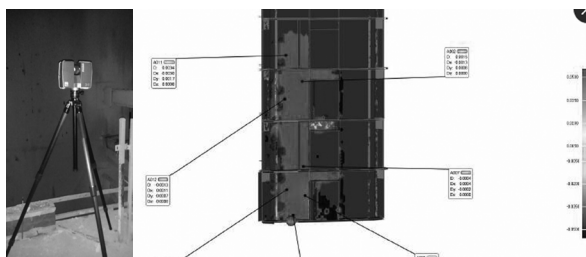


图8 三维扫描

5.3 测量机器人

在细部高精度测量控制中,测量机器人发挥了重要作用。它只需输入三维模型,在已知点就

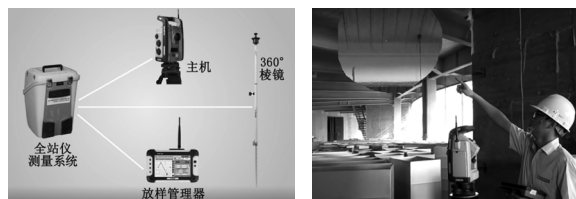


图9 测量机器人

位并确认方向后即可对目标点位进行精确的激光投射,大大加快了作业进度,提高了成品质量。

5.4 无线传输的建筑物健康监测

超高层由于高度和自重的原因,在风力、日照、地震波等的影响下,与普通建筑有较大的特性差异,如沉降、压缩变形、周期性无规律摆动等,以及因此长期作用下导致的其他结构性、功能性损伤。通过永久布置的无线传输、传感装置,对建筑物健康状况进行全生命周期的监测,及时作出预判和处理。

6 BIM的应用

BIM技术作为信息化施工手段,其应用范围近年来已有了较大发展,在武汉绿地中心工程上,BIM应用点主要有:

- 1) 方案模拟;
- 2) 复杂节点深化及工艺安排;
- 3) 管线综合排布、碰撞检查;
- 4) 配合整体机房预拼装;
- 5) 配合构件的自动化加工生产;
- 6) 配合测量机器人的测量作业;
- 7) 三维扫描对比复测验收;
- 8) 从信息模型拓展至信息平台,借助丰富的数字化信息集成,加强总承包的信息化管理效率。

7 结语

随着材料科学、设备精度以及信息化等科技手段的进步,超高层施工技术还将不断发展,甚至革命性、颠覆式的革新。作为引领超高层建设的大型企业以及奋斗在一线的技术研发和管理人员,都应加强与相关行业和领域的合作,不忘初心,大胆创新,让超高层建设更安全、更高效、更经济。

(编辑 吴学松)