

境外高寒地区建筑施工技术研究

范孝俊

上海建工五建集团有限公司, 上海 200063

[摘要]以乌兹别克三座银行办公总部项目为例, 研究境外高寒地区大体积混凝土施工及超高层建筑施工过程中的难点和解决办法, 具体分析超低温环境下混凝土浇筑工艺, 数字化建造技术在中亚地区 EPC 工程的应用, 超高层屋面复杂造型施工专项技术研究等。以项目实践为基础, 确保大底板混凝土一次浇筑成型, 数字化建造成功运用等, 为今后海外项目在高寒地区顺利建造提供重要的理论基础和实践经验。

[关键词]大体积混凝土; 水化热; 综合蓄热法; 创新应用; 复杂造型

DOI: 10.33142/ucp.v2i2.16260

中图分类号: U455

文献标识码: A

Research on Construction Technology in High Cold Regions Abroad

FAN Xiaojun

Shanghai Construction No. 5 Construction Group Co., Ltd., Shanghai, 200063, China

Abstract: Taking the office headquarters projects of three banks in Uzbekistan as an example, this paper studies the difficulties and solutions in the construction of large volume concrete and super high-rise buildings in high-altitude regions overseas. Specifically, it analyzes the concrete pouring process in ultra-low temperature environments, the application of digital construction technology in EPC projects in Central Asia, and the special technical research on the construction of complex shapes of super high-rise roofs. Based on project practice, ensuring the one-time pouring of concrete for the large base plate and the successful application of digital construction provide important theoretical basis and practical experience for the smooth construction of overseas projects in high-altitude regions in the future.

Keywords: large volume concrete; hydration heat; integrated heat storage method; innovative applications; complex design

引言

目前塔什干超高层建筑正处于起步阶段, 基础底板大体积混凝土施工技术尚处于探索阶段。且本项目位于塔什干市塔什干新城 6 号地块, 是乌兹别克斯坦改革开放的标志, 是中国建筑参与全过程海外建设中的一次有益挑战。如何在缺少相关工程案例参考的情况下, 解决严寒情况下大体积混凝土浇筑、复杂造型施工等技术难题, 确保项目顺利实施, 对周边环境影响重大。

1 工程概况

本工程总占地面积约 36576.9m², 总建筑面积 225406m², 其中地上总建筑面积约 160589m², 地下总建筑面积约 64817m²。地下部分为二层地下室, 地上部分 ASAKA 银行: 26 层, ALOQA 银行: 26 层, 工业建设银行: 33 层。本工程±0.000 相当于绝对标高 443.100m, 基坑普遍深度为 12.1m, 电梯井开挖深度为 17.4m。采用筏板基础, 塔楼下底板混凝土强度等级为 C40, 塔楼外底板混凝土强度等级为 C35, 抗渗等级为 P8。ALOQA/ASAKA 核心筒外塔楼内底板厚度 1.8m, 核心筒加厚区底板厚 2.5m; PSB 核心筒外塔楼内底板厚度 2m, 核心筒加厚区底板厚 2.7m。局部集水井部位底板厚 7.8m。

2 海外高寒地区大体积混凝土施工技术研究

2.1 基础底板砼一次浇筑量大

本工程基础底板混凝土总方量约 3.6 万 m³, 其中核心

筒大体积混凝土区域共 3 块, ASAKA 大体积混凝土总方量约 8031m³, ALOQA 大体积混凝土总方量约 8225m³, PSB 大体积混凝土总方量约 8160m³。在此之前, 未有其他项目在塔什干有如此巨大的混凝土方量连续浇筑, 工程可参考经验极少, 且根据实际考察, 当地混凝土泵站实际产能较少, 需要两至三家泵站同时供应, 混凝土供应的组织协调难度大。

2.2 昼夜温差大, 质量保证措施要求高

塔什干属于温带大陆性气候, 每年的 12 月到来年 2 月是寒冷的冬季, 且昼夜温差大, 白天正常气温在-3℃, 但在夜间会降至-15℃。本工程大底板混凝土方量较大, 经过测算, 至少需要 30 小时以上, 需要经过昼夜交替施工, 因此对混凝土养护要求高。



图 1 冬季基础施工工况图

2.3 水泥含量高, 裂缝控制难度大

乌兹当地混凝土中水泥掺量普遍大于 500kg, C40 砼

掺量为 560kg, 比国内 300kg 左右多出 80%以上, 如此多的水泥后期的水化热容易产生温度裂缝, 同时当地混凝土原材料中石子有较多的卵石, 黄砂级配不均匀, 有较多小碎石, 上述原材料对砼的质量不利; 通过对原材料配合比的优化, 将砼的裂缝减少到最少。

2.4 严寒施工措施

(1) 综合蓄热法施工

采用综合蓄热法施工, 砂、水加热, 添加高效抗冻复合添加剂, 并对混凝土表面实施覆盖和挡风等保温措施, 为搅拌站的泵管和罐车配备保温套, 确保混凝土运输过程的保温效果, 从而保证混凝土入模温度至少达到 15℃。

①掺加防冻外加剂降低混凝土溶液的冰点, 防止受冻;

②将原材料加热提高混凝土的入模和初始养护温度;

③实施保温措施, 借助水泥本身的水化热来减缓混凝土的冷却过程;

④提升养护环境温度, 促进混凝土初期强度的快速提升;

(2) 混凝土配合比设计的控制

塔楼底板混凝土强度等级为 C40, 抗渗等级为 P8。C40 商品混凝土采用 462kg 水泥, 1293kg 沙子, 516kg 石子, 104kg 水及适量添加剂。

强化与混凝土供应商的交流, 确保搅拌站在配比设计时, 按照气温高低掺入适量的 MasterPozzolith 42CF 防冻剂。掺入原则为:

0~-5℃, 对 100 公斤水泥掺入 0.8~1.1kg;

-5~-10℃, 对 100 公斤水泥掺入 1.1~1.5kg;

-10℃~-15℃, 对 100 公斤水泥掺入 1.5~1.8kg;

-15℃~-20℃, 对 100 公斤水泥掺入 1.8~2kg;

选用粒径介于 5~25mm 的连续级配粗骨料。细骨料则采用细度模数约为 2.50 的中砂, 并且对粗细骨料的含泥量进行严格控制。凝结时间要求初凝为 9~10 小时, 终凝为 12~13 小时。

(3) 浇筑前准备工作

在浇筑混凝土之前, 残留在钢筋和模板上的冰雪以及污渍必须清除干净, 同时清理脚手架和操作平台上的冰块, 以避免滑倒和跌落。

混凝土的浇筑过程必须保持连续性, 避免留下施工缝。若无法持续进行浇筑作业, 且中断时间有可能超过混凝土初凝时间, 那么必须妥善设置施工缝。

2.5 大体积混凝土的浇筑

在进行底板大体积混凝土的浇筑时, 采取了“斜面分层、薄层浇筑、一次到顶”的施工技术, 确保每一层的浇筑高度约为 500mm。

每台泵机准备 4~5 个高频插入式振捣器, 确保混凝土的充分振实。这些振捣器均匀地分布在混凝土流动的坡度区域, 具体位置包括出料口处 1 个、坡度顶端 1 个、斜面中部 1~2 个以及斜面底部 1 个。

后浇筑的混凝土需在六小时内覆盖下一层混凝土, 以避免冷缝的产生。在上下层混凝土的接合部位, 必须进行强化

的二次振捣作业, 确保振捣器深入下一层混凝土至少 50mm。同时注意不同泵机浇筑混凝土的接合区域也应加强振捣。

加强对钢筋密集部位混凝土的振捣, 确保密实。振动机插入时, 不宜碰撞钢筋、埋件、模板。混凝土浇筑时需注意: 不得冲撞测温点, 防止测温点损坏, 影响监测效果。

在进行混凝土浇筑作业时, 应妥善规划泵车的出料和浇筑步骤, 并强化出料口与基坑上泵车拌车之间的协调。负责泵送的工人需遵从现场出料口的指令, 依据现场状况调整泵送速率, 确保上层混凝土覆盖下层混凝土的时间间隔保持合理, 使得各泵车能够大致保持同步, 齐头并进。

在混凝土施工时, 必须立刻清洗后浇带区域溢出的水泥浆, 防止后续清洁工作变得艰难。浇筑过程中增设太阳灯进行照射。

2.6 混凝土养护

当混凝土强度达到 1.2Mpa 后, 就可以铺设首层薄膜, 接着铺设棉毯, 并再覆盖一层薄膜来保持温度和湿度。在薄膜的覆盖过程中, 确保接缝处至少重叠 10cm, 棉毯也应相互重叠覆盖。对于柱子和墙板的钢筋位置, 要特别注意使用棉毯进行养护, 确保电梯井、集水井等深坑位置也能完全覆盖。

在混凝土底板的养护阶段, 若因测量放线等需求需要局部移除表面的养护薄膜等, 必须获得技术部门的批准。完成作业后应立即恢复原状, 避免混凝土表面长时间暴露。

3 数字化建造技术在中亚地区 EPC 工程的应用研究

3.1 BIM 基础应用

(1) 全专业碰撞检测

在设计协调阶段, 将建筑、结构、机电、给排水、暖通空调等。每个专业团队会根据自身的设计模型和参数, 将其导入到 BIM 软件中进行建模。然后, 通过 BIM 软件可以将各个专业的模型进行整合, 并在三维模型上进行碰撞检测。

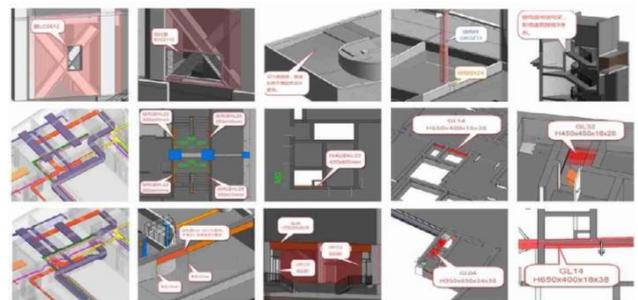


图 2 BIM 模型碰撞检测图

(2) BIM 深化设计

在深化设计阶段, 将施工图中未能清晰表达完善的节点转化为可施工的具体设计, 提供实现技术细节和材料规格, 使建筑模型达到可施工的状态。

由于本项目位于中亚地区地震带, 设计抗震设防烈度为 9 度, 结构设计存在大量大尺寸梁、柱、剪力墙, 因此对结构设计提出了新的挑战。通过 BIM 综合设计的优化, 解决了后期可能出现的结构现场施工的问题。

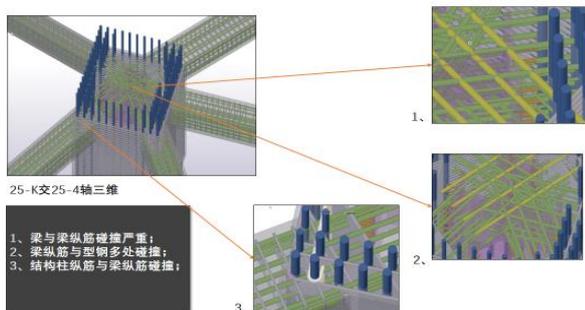


图3 结构钢筋节点设计优化图

大尺寸结构构件对机电管线综合设计,空间尺寸利用产生较大影响,通过BIM综合设计优化机电管线敷设与净空优化。

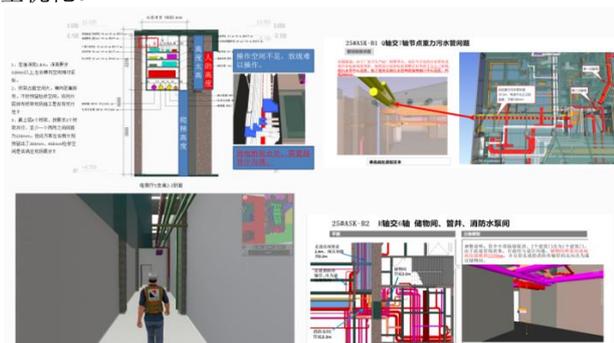


图4 机电管综深化设计图

通过BIM综合设计的优化,将所有出现的问题整理成册,同时导出三维模型与二维图纸,整合成为数字化施工手册,提交于现场施工,解决后期可能出现的设计问题。

3.2 BIM创新应用

(1) BIM幕墙专项应用

通过在幕墙专项应用贯穿于设计、施工和维护幕墙的各个阶段。其中包括:

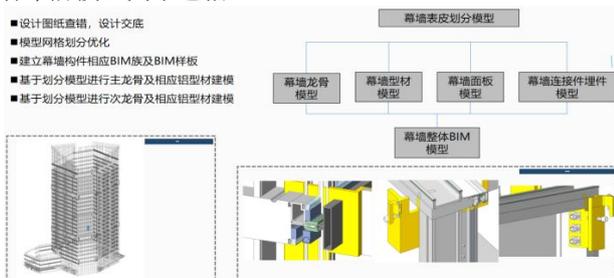


图5 幕墙建模图

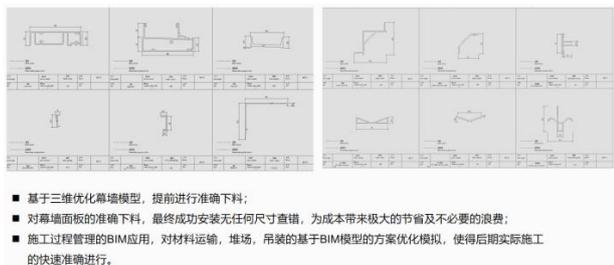


图6 型材下料成本优化图

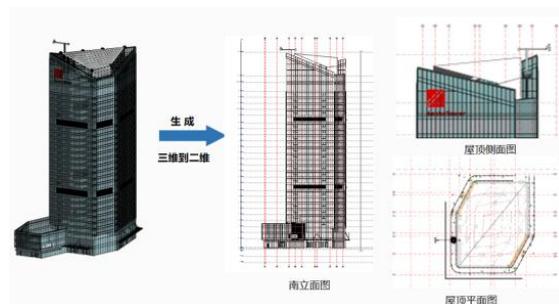


图7 模型出图

BIM工程师驻场指导,及时发现、解决进度质量上的风险,借助可视化提高工程质量



图8 施工现场协调

(2) BIM数据分析

利用BIM模型和相关数据进行深入分析和洞察,以获得有关建筑项目的关键见解和决策支持。通过BIM数据分析,可以有效地提取、整理和解释大量的建筑数据,帮助项目团队做出更明智的决策,提高项目质量和效率。

应用BIM模型对需要进行排查的结构构件着色并赋予色差分明的红蓝色并添加透明度,再按区域有条理地排查存在偏心问题的墙梁并标注云线,可以做到清晰明确地查找出有偏心问题的墙梁。

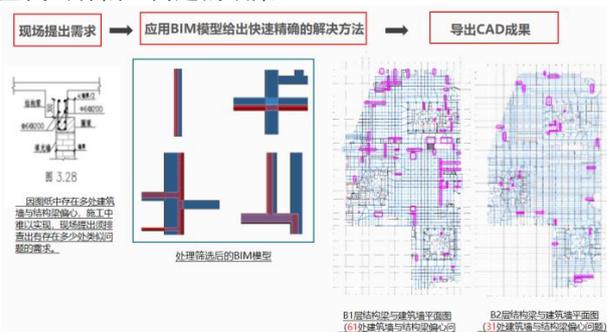


图9 BIM模型精确快速排查墙梁偏心问题

4 在超高楼层屋面复杂造型施工专项技术研究

本项目幕墙、钢结构等原材料均由国内运送至当地,再于当地建厂,进行拼装加工,由于屋顶存在钻石玻璃顶等各类复杂造型,通过对各类复杂节点搭接及施工的研究,主要解决如何更好地确保工程施工进度及工程质量控制及满足建筑设计要求。

本项目25#楼的屋面为钻石形状的钢屋面(结构模型如下图),其长度在长边方向达到46m,短边方向则为32m,

高度大约是 15m。底面呈六边形，而顶部由两个平面相交于一条屋脊形成。实现了类似钻石形状的建筑外观。

依据设计要求，屋顶设计为大空间，支撑柱位于边缘，屋顶呈人字形，底部呈六边形结构。在短跨度方向上，屋顶安装了人字形钢梁；在屋脊方向，与周边钢柱相结合，设置了垂直方向的钢梁。同时，利用底部六边形的特性，在每个四边形的顶面钢结构平面内，结合建筑外观，需设置斜向支撑，以形成一个面内刚度较大的整体。

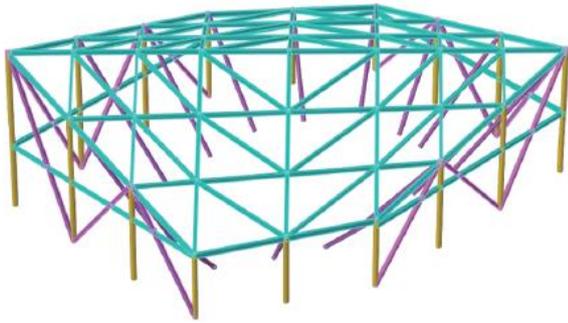


图 10 钻石形屋顶钢结构模型图

钻石形屋顶设计独特且坚固，能承受包括自身重量、附加恒定负载、积雪重量、维护活荷载、地震力、风力和温度变化带来的各种荷载。鉴于塔什干地区日夜温差显著，且该建筑顶部采用玻璃幕墙覆盖，侧面部分也由玻璃幕墙构成，屋顶设计为半露天形式，故在设计阶段，温度荷载计算采用了 $\pm 40^{\circ}\text{C}$ 的范围。下图展示了中间榀结构在自重恒载和升温 40°C 两种工况下的杆件轴力分布，从中可以观察到温度荷载对周边钢柱和内侧钢支撑产生的轴力是显著的。

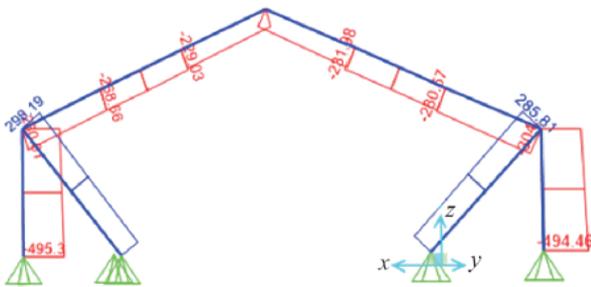


图 11 自重恒载下中间榀结构的轴力图（单位：kN）

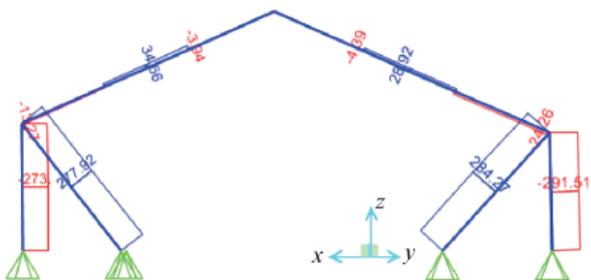
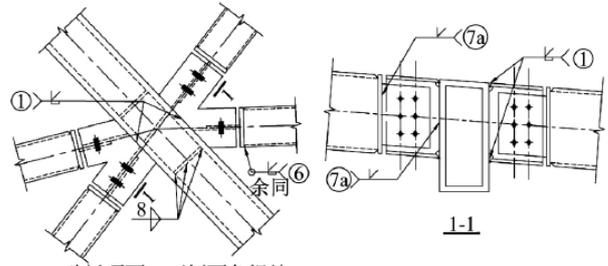


图 12 升温 40°C 下中间榀结构的轴力图（单位：kN）



劲板顶面、两侧面角焊缝

图 13 屋顶钢梁的典型连接节点

根据钢结构完成的框架，首先进行优化空间测量，本项目采用全站仪测量定位，将现场实际测量点位反馈至施工图纸中，进行屋顶塔冠钢骨架及支点平面布置图深化，最终划分拼接区域，在地面拼装完成，分段吊装。屋顶搭设满堂脚手架作为安装钢结构、幕墙的上人操作平台，玻璃幕墙分块有序安装。



图 14 钻石玻璃顶照片

5 结语

结合工程施工进一步研究了境外高寒地区超高层施工中的难点，并科学选用相关技术措施，通过采用针对性的方案处理、施工工艺的优化与改进，取得了良好的效果，确保现场顺利实施，为今后类似工程的顺利实施积累了经验。

【参考文献】

- [1]王涛. 大体积混凝土裂缝成因分析与预防控制措施应用研究[J]. 中国建筑装饰装修, 2023(8): 78.
- [2]王鼎鑫, 黄丽名. 超高层建筑超厚基础底板大体积混凝土施工关键技术[J]. 建筑技术, 2023(3): 45.
- [3]王希伟. 复杂幕墙工程设计中的 BIM 技术应用[J]. 无线互联科技, 2021(4): 18.
- [4]赵永华. 复杂超高层建筑结构设计研究[J]. 建筑与文化(学术版), 2013(4): 213.

作者简介：范孝俊（1986.1—），毕业院校：江南大学，所学专业：工程管理，当前就职单位：上海建工五建集团有限公司第二工程公司，职务：总经理，职称级别：高级工程师。