

DOI: 10.7672/sgjs2026020015

超高层塔楼贝雷式智能顶升钢平台设计与分析*

张志超¹,单宏伟¹,林冰²,王晓冬¹,兰晓刚¹,傅强¹,刘强斌¹,朱东平¹

(1. 中建五局华南建设有限公司,广东 深圳 518000; 2. 中国建筑股份有限公司技术中心,北京 101300)

[摘要] 为解决顶升钢平台自重大、施工难度高、适用性差、智能化水平低等问题,开发了贝雷式智能顶升钢平台。详细阐述了支撑顶升系统、桁架平台系统、模板系统、挂架系统、智能控制系统、智能装备系统的设计特点及优势,具有轻量化、承载力高、适应性好、效率高、智能化等特点。对顶升钢平台进行了有限元分析,结果表明满足设计要求。

[关键词] 高层建筑;智能建造;钢平台;桁架;轻量化;有限元分析

[中图分类号] TU755

[文献标识码] A

[文章编号] 2097-0897(2026)02-0015-06

Design and Analysis of Bailey-type Intelligent Jack-up Steel Platform for Super High-rise Towers

ZHANG Zhichao¹, SHAN Hongwei¹, LIN Bing², WANG Xiaodong¹,
LAN Xiaogang¹, FU Qiang¹, LIU Qiangbin¹, ZHU Dongping¹

(1. China Construction Fifth Division Southern Construction Subsidiary Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong 518000, China; 2. China State Construction Technical Center, Beijing 101300, China)

Abstract: To solve the problems of heavy self-weight, high construction difficulty, poor applicability, and low intelligence level of jacking steel platforms, a Bailey-type intelligent jack-up steel platform is developed. The design characteristics and advantages of support lifting systems, truss platform systems, formwork systems, hanger systems, intelligent control systems, and intelligent equipment systems, such as light weight, high bearing capacity, good adaptability, high efficiency, and intelligence, are described in detail. The finite element analysis of the jack-up steel platform is carried out, and the results indicate that the design requirements can be met.

Keywords: tall buildings; intelligent construction; steel platform; trusses; lightweight; finite element analysis

0 引言

核心筒施工作为超高层建筑施工的重点环节,直接影响整个建设项目的质量、工期和成本。由于核心筒结构设计日益复杂,施工资源需求量越来越大,加上作业面狭窄、高空作业危险性大、模板周转周期长等难点,使施工难度增大。传统施工工艺中,核心筒一般采用爬模和提模系统进行施工,存在较多问题,如承载能力不足、顶升速度慢、模板需要逐块进行支设拼装、内模需要单独用塔式起重机进行转运;对钢筋和施工机具需要多批次吊运,需

要占用大部分塔式起重机的运力,对其他工序影响较大,单层施工时间较长;结构适应性差,在建筑结构变换时,模架体系需要进行高空拆改,高空作业难度较大,施工危险性较高。

为了解决上述问题,发展出顶模施工技术,但顶模技术存在设备自重大、造价高、抗侧刚度差、支点占用核心筒空间大、结构承载能力要求高等问题。随着超高层施工技术的发展,对承载力、集成性、适应性、安全性、经济性提出了更高要求。多支点顶升钢平台系统以其承载力高、施工速度快、安全性能高、集成度高,已成为目前超高层建筑核心筒剪力墙施工的主流施工设备,但目前常规顶升钢平台系统仍存在自重大、现场焊接量大、安装周期长等缺点。同时,建筑业转型升级对智能化提出了

* 中建五局重点研发项目;超高层项目绿色智造成套关键技术研究与应用(CSCEC5B-2024-5);中施企协科技研发项目;贝雷式智能顶升钢平台及智能装备体系关键技术研究(2024-B-025)

[作者简介] 张志超,工程师,E-mail:21051321@cscec5b.com.cn

[收稿日期] 2025-08-12

更高要求。因此,研发出轻量化、全装配化、系统化、集成化、智能化、数字化的智能顶升钢平台不仅符合行业的发展要求,同时响应国家“新质生产力”的发展要求。

1 工程概况

深超总 C 塔项目位于深圳湾超级总部基地核心位置,为不等高双塔连廊结构,其中 A 座塔楼高 393.2m,核心筒外墙厚由 1 400mm 逐渐向上收缩至 500mm,49~50 层南北侧剪力墙为斜墙,向内倾斜 1.5m,60 层以上核心筒四处角部结构剪力墙开放,67~69 层局部出现凸墙,墙厚由 500mm 变为 1 000mm;B 座塔楼高 329m,核心筒外墙厚由 1 200mm 逐渐向上收缩至 400mm,49~51 层南北侧剪力墙为斜墙,向内倾斜 2.0m,如图 1,2 所示。

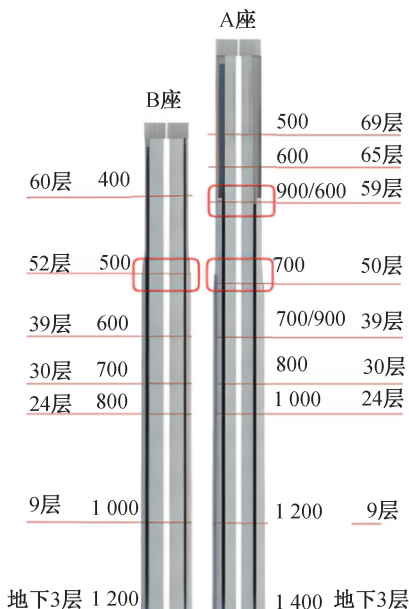


图 1 核心筒墙体厚度变化

Fig. 1 Change of core wall thickness

2 贝雷式智能顶升钢平台结构设计

贝雷式智能顶升钢平台(简称“顶升钢平台”)主要由支撑顶升系统、桁架平台系统、模板系统、挂架系统、智能控制系统、智能装备系统组成,如图 3 所示。

2.1 支撑顶升系统

由于低位顶模支撑系统支撑点位置低,受混凝土强度影响小、支点数量少、采用长行程千斤顶,顶升一次即可到位,在许多项目中得到应用,如图 4 所示。但该支撑形式抗侧刚度差,桁架悬挑端大,导致支撑系统及桁架自重重大、造价高。

轻量化设计采用轻型多支点支撑顶升系统,包括附墙支座、导轨、格构柱、支撑框等,预埋件采用爬锥或穿墙丝杆。导轨立柱上部通过支撑格构柱

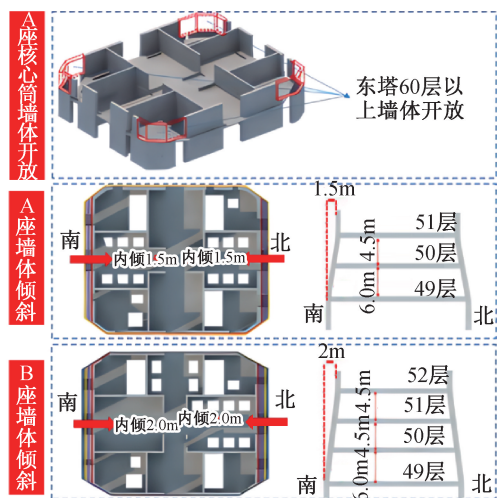


图 2 核心筒墙体结构变化

Fig. 2 Structural change of core wall

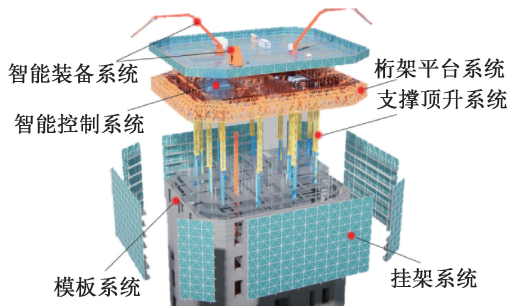


图 3 顶升钢平台组成

Fig. 3 Composition of jack-up steel platform

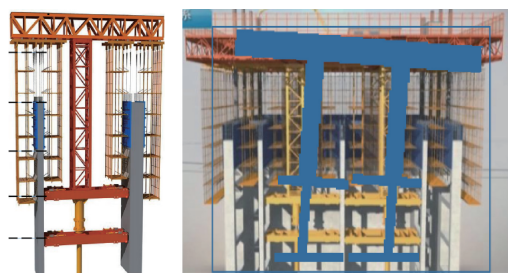


图 4 低位顶模支撑系统结构形式

Fig. 4 The structure form of low-position jack-up formwork support system

与顶升钢平台桁架平台系统连接,下部与附墙支座承重块连接;支撑框同样与附墙支座承重块连接,支撑框与导轨嵌套连接,可上下相对滑动;油缸下端与支撑框连接,上端与导轨连接。每根支撑顶升系统共 3 道支座附着,每道支座具有限位装置,防止支撑顶升系统倾覆,如图 5 所示。

A 座塔楼南北墙倾斜及收缩,东西墙多连梁及出现凸柱,60 层以上四角墙体开放,因此,支撑点位放置在内部井字墙上,其中 1 号点位处 30 层之前为连梁,32 层之前设置 1-2 号支撑点位,32 层后拆除,

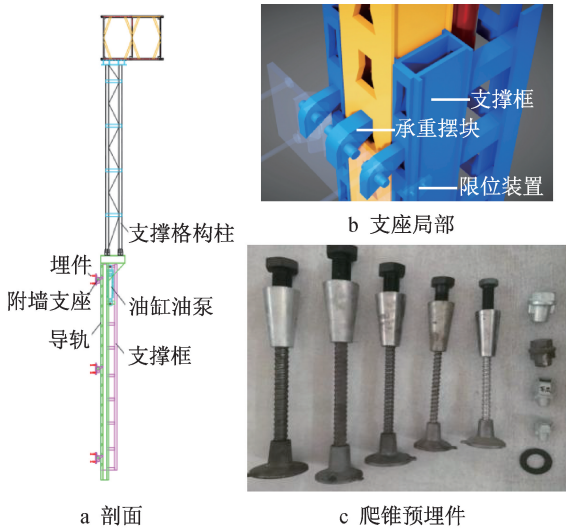


图 5 支撑顶升系统组成

Fig. 5 Composition of support jack-up system

转换为 1 号点位支撑。B 座塔楼南北墙倾斜及收缩,因此,支撑点位放置在内部井字墙及东西墙内侧。A 座、B 座支撑点位均 14 个(见图 6)。

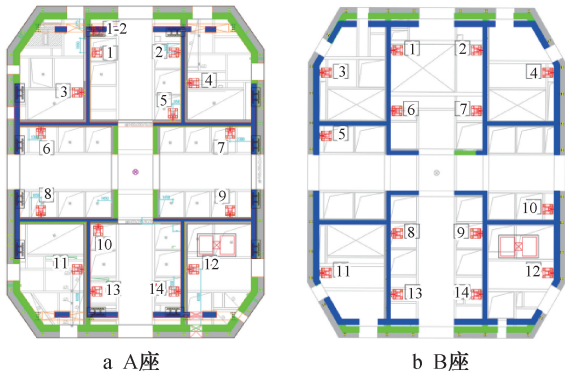


图 6 支撑点位布置

Fig. 6 Layout of support points

传统顶升系统顶升过程中支撑框附着在墙体上不动,油缸顶升导轨向上爬升,随即油缸空载无效回收,继续顶升下一个行程,重复直至顶升 1 个层高(见图 7),顶升到位后,支撑框需二次爬升或人工倒运,爬升效率低且顶升过程中导轨悬臂高度大、截面设计尺寸大、自重大。

本项目设计步进式顶升系统,顶升 1 次,油缸带动支撑框回收,没有无效回收,顶升 1 个施工层后,支撑框也回收到位,比传统顶升方式顶升效率提高 50%,如图 8 所示。顶升过程中,导轨与支撑框同步爬升,减小导轨悬臂高度,节约钢材 25%。油缸最大顶升力 1 500kN,一次顶升行程 500mm。

2.2 桁架平台系统

传统桁架平台系统一般采用两种形式:①型钢

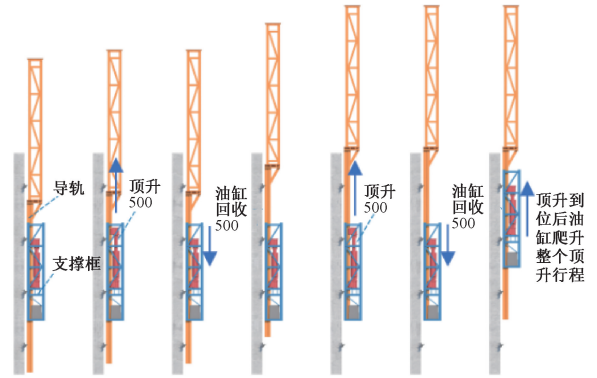


图 7 传统顶升方式

Fig. 7 Traditional jack-up method

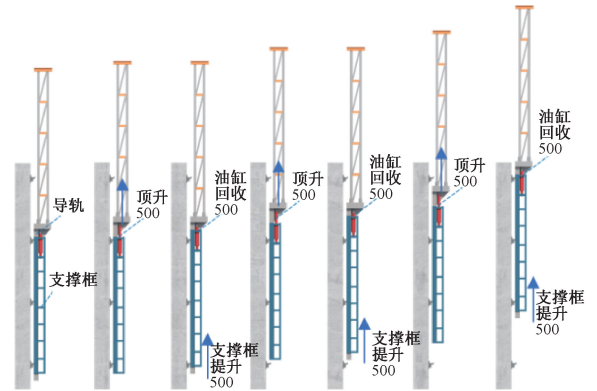


图 8 步进式顶升方式

Fig. 8 Step-by-step jack-up method

构件现场焊接,桁架承载力高,但自重大、焊接量大,不经济且施工周期长;②标准贝雷架现场拼装,此桁架形式可周转使用,但承载力低,往往需 4 榀贝雷架同时使用,承载力得不到充分发挥,自重大,且标准贝雷架较短,销轴连接数量多,易产生挠度变形。

本项目采用新型贝雷式桁架系统,由柱头、主桁架、次桁架和连接杆组成,均采用销轴连接,桁架长度按少分段原则设计,两柱头之间仅设置单段桁架,销轴连接数量减少约 20%,整体稳定性好,结构全装配,安拆快捷(见图 9)。桁架布置间距及尺寸根据剪力墙结构型钢柱及横臂桁架牛腿位置进行合理避让。

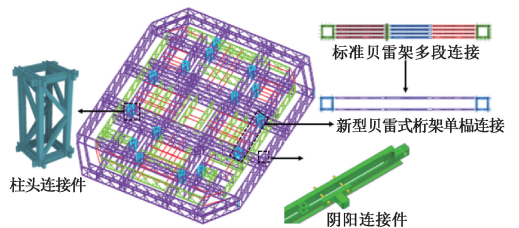


图 9 桁架平台结构

Fig. 9 Truss platform structure

采用基于性能最优化的结构设计方法进行轻

量化设计,具体内容如下。

1)根据受力大小设计截面参数,跨中受力较大位置设置局部加强区;柱头连接位置应力集中,考虑杆件截面不等,双槽钢端部增加封板增大截面(见图 10,11);优化连接位置,使桁架承载力得到充分发挥,自重 165kg/m²。

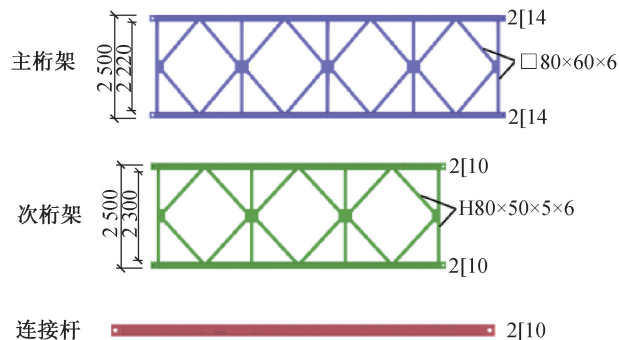


图 10 桁架平台杆件截面

Fig. 10 Member section of truss platform

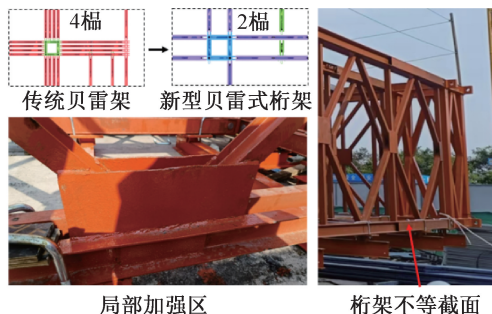


图 11 桁架优化设计

Fig. 11 Truss optimization design

2)贝雷架高度由 1.5m 增加至 2.5m,抗弯刚度大,因此由传统 4 榀标准贝雷架优化为 2 榀,相比于传统重型顶模设计节约钢材 30%。

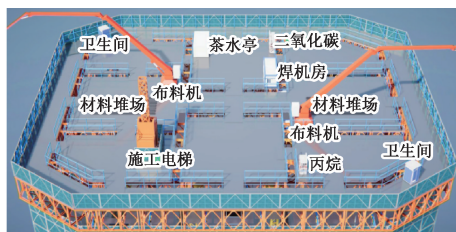
3)增大抗弯刚度,提高整体承载力,平台顶部承载力达 10kN/m²,可抵御 17 级台风。

4)相对于标准贝雷架,优化后桁架内部空间大,人员可正常通行,且可灵活进行功能布置(放置电房、水箱、工具房、控制室、休息室等),不占用顶部堆载空间,顶部堆载能力 3 000kN,如图 12 所示。

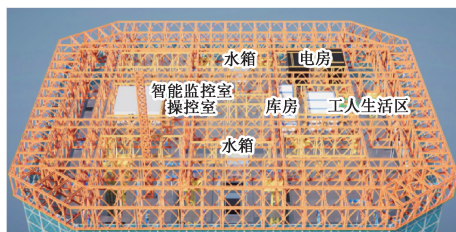
2.3 挂架系统

桁架下方通过吊点夹具连接挂架钢梁,外墙挂架通过滑动连接件与钢梁连接,当墙体厚度变化时通过滑动连接件向墙体内移动,钢梁两端设置限位螺栓,防止滑动连接件脱落,内墙挂架通过固定连接件与钢梁连接,如图 13,14 所示。

为满足混凝土养护层、模板作业层、钢筋绑扎层、钢构操作层的施工需求及操作便利,挂架步高设置为 2.1~2.5m,内外挂架均为 7 步架,总高



a 桁架顶部



b 桁架内部

图 12 桁架功能布置

Fig. 12 Truss functional arrangement

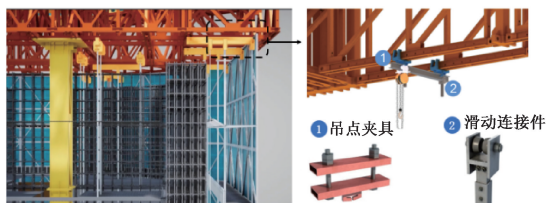


图 13 外挂架连接

Fig. 13 External hanger connection

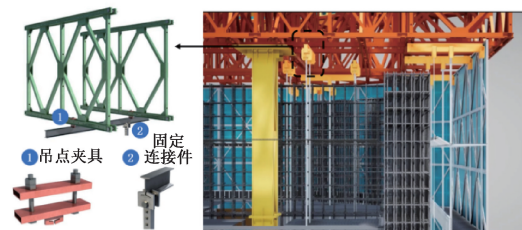


图 14 内挂架连接

Fig. 14 Internal hanger connection

15.52m,可多工种同时施工,构成“空中工厂”立体交叉作业空间,如图 15 所示。

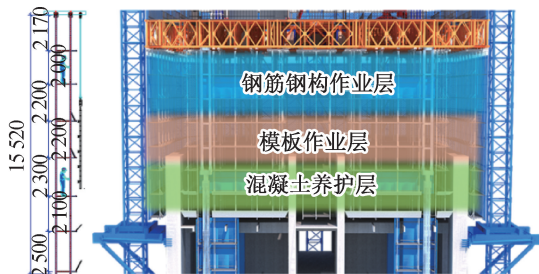


图 15 挂架剖面

Fig. 15 Hanger profile

2.4 模板系统

模板系统由铝模体系、葫芦吊链和滑动连接件

组成,模板吊挂在桁架下,随顶升钢平台顶升而提升,无需人工倒运,通过滑动连接件进行模板开合模,通过葫芦吊链上下调节模板,开合模便捷,安装精度高,如图 16 所示。

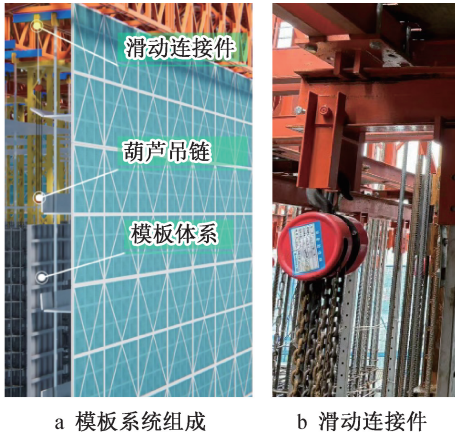


图 16 模板系统

Fig. 16 Formwork system

2.5 智能控制系统

智能控制系统主要包括液控系统和电控系统两个分系统,从而实现对全部油缸的控制。其中液控系统主要包括泵站、各种闸阀和整套液压管路,通过控制各个闸阀的动作控制整个系统的动作和紧急状态下自锁。

1) 液压控制系统采用一缸一泵形式,每个油缸配置高精度压力传感器和高精度位移传感器,PLC 控制系统可以同时控制所有液压站及油缸的同步升降动作,也可以控制单机位单缸升降,同步精度可达 5mm。

2) 程序控制原理:系统初步设定 50mm 为 1 个步距行程,当所有油缸的位移传感器都移动 50mm 后,PLC 控制中心给出下个重复上升动作信号,当其中 1 个油缸行程未达到 50mm 时,其他油缸都不会继续上升。

3) 平台桁架内部设有控制室,可以直接操控平台各机位、布料机、喷淋系统等设备工作。可实时查看平台顶升时各项数值,出现荷载过重、倾斜过大、位移偏差等危险状况会自动急停设备,发出警报,并定位故障位置,集控制与数据检测于一体。

4) 具备实时检测、自动急停、自动识别故障点、荷载过大保护、防坠落、防倾覆、全天候施工环境、软硬件双重保护等功能,确保运行安全。

2.6 智能装备系统

在顶升钢平台上布置智能装备协同施工,桁架上布置布料机器人、机械臂焊接机器人、除锈机器人以及智能施工电梯,在挂架走道板下方布置巡检

机器人及智能喷淋系统,如图 17,18 所示。

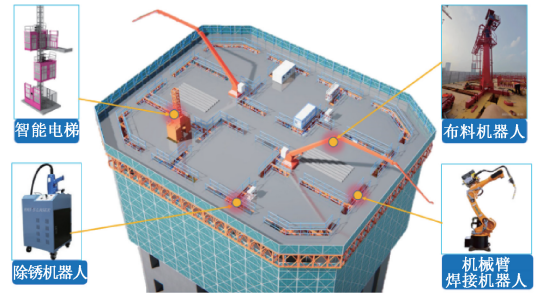


图 17 桁架平台顶部智能装备

Fig. 17 Intelligent equipment at the top of truss platform

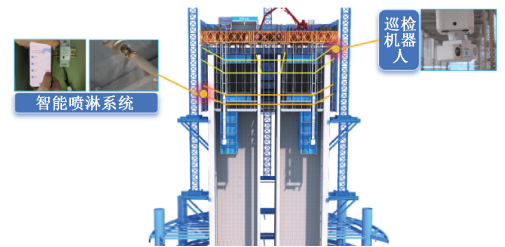


图 18 挂架上智能装备

Fig. 18 Intelligent equipment on the hanger

1) 布料机器人

附着在桁架平台系统上,示教程序可自动控制布料机到达设定的浇筑点位进行作业。

2) 机械臂焊接机器人

通过记忆示教每个动作的位置、姿态、运动参数、焊接参数,对核心筒型钢柱进行焊接,焊接合格率达 99.5%。

3) 除锈机器人

用于核心筒型钢柱除锈,通过激光脉冲烧蚀去除表面镀层或膜层,达到除锈、清洗的目的。

4) 智能施工电梯

直达顶升钢平台顶部,运输效率高,可实现笼内、楼层之间全自动呼梯,能自动精准停靠各楼层,停靠层精度在 $\pm 5\text{mm}$ 以内。具有故障自诊断、智能语音播报等功能,利用 AI 检测乘坐人员数量及载重,具备实时语音通话和一键报警功能。

5) 巡检机器人

通过视频画面和 AI 图像识别技术进行移动监控、安全巡检(穿戴反光衣、安全帽、安全带、人员抽烟等行为规范)、质量巡检。

6) 智能喷淋系统

根据环境监测结果(温度、湿度传感器)进行智能喷淋养护或远程端手动控制,为混凝土强度发展定制实时生长环境,保障混凝土的强度发展和顶升

钢平台的安全附着。

3 结语

针对深超总 C 塔项目结构特点以及项目定位,开发出新型贝雷式智能顶升钢平台,具有轻量化、承载力高、适应性好、效率高、智能化等特点。

1) 运用步进式顶升系统,顶升效率较传统顶升方式提高 50%,节约钢材 25%。

2) 设计新型贝雷式桁架系统,全装配式连接且连接数量减少 20%;采用基于性能最优化的结构设计方法进行轻量化设计,自重减轻 30%,承载力高,内部可灵活布置功能区间,空间利用率高,集成度高。

3) 在顶升钢平台上应用智能装备系统,有效提高智能化施工水平、施工质量和施工效率。

4) 对顶升钢平台进行有限元分析,计算结果满足设计要求。

参考文献:

- [1] 刘家全,苏岸,郭海鹰,等.我国超高层建筑智能顶升平台设计和施工研究进展[J].西安工业大学学报,2024,44(5):598-615,668.
LIU J Q,SU A,GUO H Y,et al. Research progress on design and construction of intelligent jacking platforms for super high-rise buildings in China[J]. Journal of Xi'an Technological University, 2024,44(5):598-615,668.
- [2] 王凝,曾凡奎,高宇甲,等.超高层建筑顶升模架系统的优化设计及智能建造[J].建筑科学与工程学报,2023,40(2):69-76.
WANG N,ZENG F K,GAO Y J,et al. Optimal design and intelligent construction of jacking formwork system for super high-rise buildings[J]. Journal of architecture and civil engineering, 2023,40(2):69-76.
- [3] 艾心荧,余地华,叶建,等.天津高银 117 大厦新型抗侧移模块化低位顶升钢平台模架体系安装施工关键技术[J].钢结构(中英文),2022,37(2):46-52.
AI X Y,YU D H,YE J,et al. Key installation technology of new sidesway-resisting modularized low-position jacking steel platform scaffold system in Tianjin Goldin 117 Building [J]. Steel construction,2022,37(2):46-52.
- [4] 刘玉涛,陈万里,黄苏梦,等.轻量化整体液压顶升式钢平台在宁波曼哈顿大厦项目中的应用[J].施工技术(中英文),2024,53(14):35-40,46.
LIU Y T,CHEN W L,HUANG S M,et al. Application of

lightweight integrated hydraulic jacking steel platform in Ningbo Manhattan Building project [J]. Construction technology,2024,53(14):35-40,46.

- [5] 滕柳.超高层建筑顶升钢平台模架系统的研究与设计[D].西安:西安工业大学,2022.
TENG L. Research and design of jacking steel platform moulding system for super high-rise building [D]. Xi'an: Xi'an Technological University,2022.
- [6] 廖鸿,杜福祥,刘威,等.重庆国金中心低位顶升模架设计[J].施工技术,2015,44(7):17-21.
LIAO H,DU F X,LIU W,et al. Design of modularization low-position jacking formwork in Chongqing IFS [J]. Construction technology,2015,44(7):17-21.
- [7] 王开强,王磊,姚涛,等.轻量化顶模集成平台开发及应用[J].施工技术(中英文),2024,53(22):119-122,128.
WANG K Q,WANG L,YAO T,et al. Development and application of lightweight jacking formwork integration platform [J]. Construction technology,2024,53(22):119-122,128.
- [8] 孟召虎,汉光昭,蒋学智,等.基于智能顶升平台的集成悬挂系统研究[J].施工技术(中英文),2025,54(14):95-100.
MENG Z H,HAN G Z,JIANG X Z,et al. Integrated suspension system research based on intelligent jacking platform [J]. Construction technology,2025,54(14):95-100.
- [9] 李健强,杨勋,王帅,等.武汉长江中心轻量化集成平台设计[J].施工技术(中英文),2022,51(10):25-28,116.
LI J Q,YANG X,WANG S,et al. Design of lightweight integrated platform in Wuhan Yangtze River Center [J]. Construction technology,2022,51(10):25-28,116.
- [10] 房霆宸,龚剑,崔巍.超高结构建造空中造楼机风荷载体型系数试验[J].土木工程与管理学报,2024,41(5):34-40.
FANG T C,GONG J,CUI W. Experimental study on wind load shape coefficient of ultra-high structure construction aerial building machine [J]. Journal of civil engineering and management,2024,41(5):34-40.
- [11] 曾凡奎,穆召龙,张建华.某超高层建筑核心筒大行程顶升模架施工技术[J].钢结构,2017,32(9):110-114,46.
ZENG F K,MU Z L,ZHANG J H. Construction techniques of long-trip jacking formwork of a super high-rise building core tube [J]. Steel construction,2017,32(9):110-114,46.
- [12] 王开强.施工作业集成平台技术(CIP)的发展与展望[J].施工技术(中英文),2024,53(20):1-15.
WANG K Q. Development and prospect of construction integrated platform (CIP) technology [J]. Construction technology,2024,53(20):1-15.