

超厚基础底板中大跨度组装式钢筋支架的应用

——以苏州中南中心为例

王帅亮

(江苏中南建筑产业集团有限责任公司,江苏 南通 226100)

摘要:超厚型基础底板因面临钢筋直径大、体量大、分布层数多、安装复杂等问题,需采取特定的型钢支架体系来辅助施工。以苏州中南中心为例,根据基坑形状、剪力墙巨柱插筋排布、电梯井排布等情况,合理设置大跨度型钢钢筋支架,减少立柱数量,确保钢筋铺设搬运转向便利;同时,根据施工工况推演,分析各个阶段钢筋支架的受力情况,优化型钢规格和连接节点。最终实践证明:采用高强螺栓连接与焊接连接结合的方式,形成一种用于超厚基础底板的大跨度组装式钢筋支架,可大幅减少焊接作业量;同时,通过地面组装后整体吊装,可减小吊装作业量,加快钢筋施工进度,加快底板封闭时间,保证基坑整体安全。

关键词:钢筋支架;大跨度;组装式;工况推演;受力分析;超厚型基础底板

中图分类号:TU753

文献标识码:A

文章编号:1673-8993(2024)05-0047-06

doi:10.13402/j.gejs.2024.05.063

Application of large-span assembled steel support in extra-thick foundation slab

——Taking Suzhou Zhongnan Center as an example

WANG Shuailiang

(Jiangsu Zhongnan Construction Industry Group Co., Ltd., Nantong 226100, Jiangsu, China)

Abstract: Due to the problems of large rebar diameter, large volume, large number of distribution layers and complex installation, it is necessary to adopt a specific profile steel support system to assist the construction. Suzhou Zhongnan Center is taken as an example, according to the shape of the foundation pit, the arrangement of the reinforcement of the giant column of the shear wall, the arrangement of the elevator shaft, etc., the large-span profile steel support is reasonably set up to reduce the number of columns and ensure the convenience of reinforcement laying, handling and turning. At the same time, according to the deduction of construction conditions, the stress of the steel support at each stage is analyzed, and the steel specifications and connection nodes are optimized. The final practice proves that the combination of high-strength bolt connection and welding connection can form a large-span assembled steel support for extra-thick foundation slab, which can greatly reduce the welding workload; At the same time, the overall hoisting after ground assembly can reduce the hoisting workload, speed up the construction progress of reinforcement, speed up the closing time of the bottom plate and ensure the overall safety of the foundation pit.

Key words: steel support; long span; assembled; working condition deduction; force analysis; extra-thick foundation slab

目前,在超厚基础底板钢筋^[1]施工时,由于承载力需要,基础底板呈现厚度大^[2]、坑中坑密

收稿日期:2023-08-29

作者简介:王帅亮(1992—),男,工程师,从事超高层、装配式建筑方面的研究工作。

布^[3]的特点,一般设计为多层底筋、多道温度筋以及多层面筋^[4]。为满足温度筋、面筋的支撑及绑扎需求,通常采取型钢设计专用的钢筋支架。钢筋支架由立柱、温度筋横梁、面筋横梁、剪刀撑^[1]等组成。钢筋支架设置的优劣直接影响钢筋的铺设质量和速度以及钢筋绑扎整体的安全稳定性。柯子平等^[5-6]以天津周大福金融中心项目为例,对塔楼基础底板钢筋支架进行二次设计,将 8#槽钢作为立柱放置在底筋最上排之上、L56×4 角钢作为温度筋支撑、10#槽钢作为面筋支撑,确保了基础底板施工的安全和顺利进行;张鹏等^[7]以昆明春之眼商业中心主塔楼为例,通过对基础底板钢筋支架进行深化设计,采用 8#槽钢作为立柱放置于底筋最上排之上、L50×5 角钢作为温度筋支撑、10#槽钢作为面筋支撑,确保了基础底板安全顺利施工;田卫国等^[8]通过研究合肥恒大中心 C 地块塔楼基础底板钢筋支架,将 10#槽钢作为立柱放置在底筋最上排之上、L50×5 角钢作为温度筋支撑、12.6#槽钢作为面筋支撑,为超高层建筑基础底板施工可能遇到的问题提供了已成功实施的思路和方法;蒋凯等^[9]研究了北京中国尊大厦的基础底板钢筋支架,采用 10#工字钢作为立柱放置在底筋最上排之上、L50×5 角钢作为温度筋支撑、10#槽钢作为面筋支撑,经验算满足要求。

典型的型钢钢筋支架仍存在较多不便之处,需要进一步优化立柱间距、支架节点构造、施工周期等。本文以苏州中南中心项目为例,通过研究跨度较大、可螺栓组装式的型钢钢筋支架,以期对超厚底板的钢筋敷设提供一定的借鉴与参考。

1 钢筋支架总体设计

1.1 型钢支架构造

为减少立柱数量、吊装及焊接作业量,在确保施工安全的前提下,以“大跨度”、“组装式”为思路,通过施工工况推演,确定受力工况,布置合适的型钢支架体系。立柱采用 H 型钢,底部采用铁板做垫脚,在立柱相应位置焊接托板、连接板。焊接作业均在工厂内完成。钢筋支架立柱如图 1 所示。

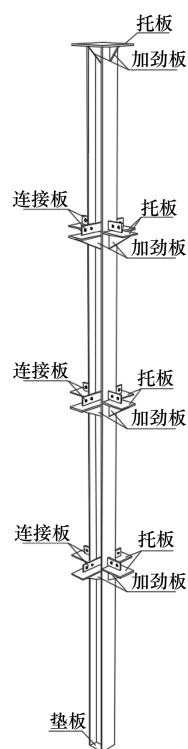


图 1 钢筋支架立柱示意

面筋大面区域采用 H 型钢作为短跨主受力横梁,插筋密集区域(巨柱、剪力墙)采用高一级规格的 H 型钢作为短跨主受力横梁,长跨非主受力横梁采用次一级规格的 H 型钢。温度筋均采用小规格 H 型钢或槽钢作为横梁。沿非主受力横梁方向每 2~3 跨设置一道连续角钢剪刀撑,沿主受力横梁方向每两跨设置一道连续角钢剪刀撑。

1.2 坑中坑方案优化

鉴于建筑功能需要,超高层建筑在核心筒内设置多台高速电梯,在底板内布设电梯井和集水井。同时,受结构受力影响,下沉的井坑筏板底标高低于大面筏板的底标高,形成坑中坑区域。针对深坑深度过大情况,并保证立柱高度的统一性,对该区域优先进行混凝土浇筑,浇筑面标高与大面底标高一致,如图 2 所示。

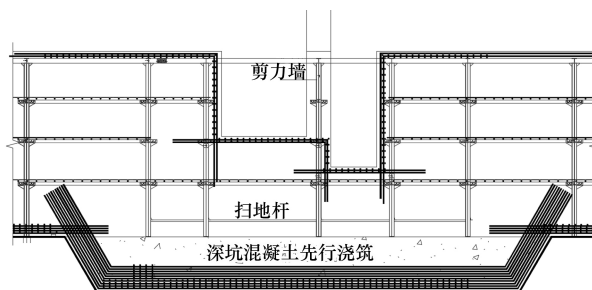
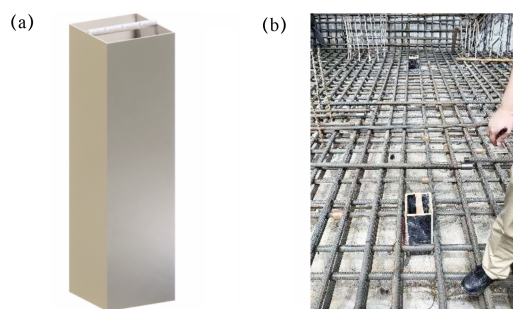


图 2 坑中坑区域钢筋支架布置立面示意

1.3 细部节点优化

1.3.1 立柱优化

塔楼底板各区域底筋排数存在较大差异，其中巨柱区域厚度最大，核心筒区域次之，角部区域为最薄。同时，底筋下部的钢筋保护层厚度将进一步加高底筋最上排的标高。为确保立柱制作和安装的统一和便利性及立柱自身的稳定性，将立柱底部放置在垫层基础之上，取代常规布置在底筋最上排之上的形式。另，由于立柱高度过高，为避免立柱对底筋铺设造成影响，底筋先于立柱施工。现场根据钢筋支架深化图纸，采用全站仪对立柱进行定位，提前在垫层上做好标记和定位措施，同步放置可循环使用的护筒，定位护筒尺寸，并根据立柱尺寸适当放大，且尽量不超过钢筋设计间距，预留立柱的安装位置，确保后期立柱的顺利安装。护筒安放如图 3 所示。



(a) 护筒效果；(b) 护筒现场安装

图 3 护筒安放示意

1.3.2 吊装方式优化

在底筋铺设完成后，进行钢筋支架吊装。标准跨钢筋支架在地面组装，采取单跨或两跨的拼装方式。多道温度筋横梁与立柱先行采用普通螺栓临时固定，便于后期现场温度筋铺设时临时拆卸或局部微调。角钢斜撑和面筋横梁不参与地面组装，待基坑内温度筋铺设完成后进行安装，加固效果更佳。支架拼装完成后由塔吊和汽车吊整体吊运(图 4)至相应区域，可大大节省垂直运输设备的工作任务量，提高施工安全性和施工速度。

1.3.3 与原有构筑物连接优化

钢筋支架的安全和稳定是施工的首要目标。充分利用底板范围内的钢管柱、格构柱、混凝土边桁架等稳定构件，将钢筋支架与上述构筑物进行刚性连接，如图 5 所示，可大大提升整个钢筋

支架体系的抗倾覆能力。同时，优化边桁架的标高及构件尺寸，利用边桁架作为面筋的承托构件可进一步提升整个架体的安全性。



图 4 钢筋支架整体吊装

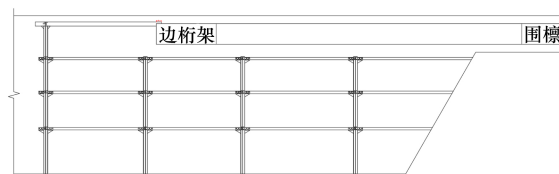


图 5 利用边桁架作为面层钢筋支架

2 钢筋支架安装节点设计

2.1 扫地杆与立柱连接

拔出护筒，安装立柱后，将底筋最上排钢筋与立柱进行焊接连接。利用短钢筋头进行连接焊接，作为支架的底部扫地杆，如图 6 所示。坑中坑范围内由于底部钢筋位于深坑已浇筑混凝土内，在大面标高无底筋，则采用小规格槽钢进行焊接连接，作为立柱的底部扫地杆。同时，该区域的钢筋支架先于整个大面施工，通过局部加固措施，提前成型的架体可用于钢筋临时堆放场地，便于钢筋吊装和转运。

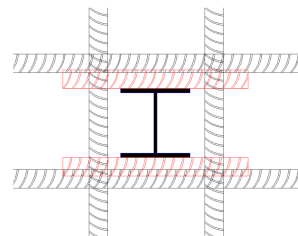


图 6 利用短钢筋头焊接连接立柱与底筋

2.2 温度筋横梁与立柱连接

除前期已吊装完毕的单跨多层温度筋横梁外，其他温度筋横梁采取分层安装。由于横梁质量较小，可直接人工抬运至立柱托板之上。调节完毕后，采用高强螺栓进行腹板与连接板连接，将横梁下翼缘与托板进行焊接。托板既作为安装搁置

点与定位点,同时也作为焊接节点,如图 7 所示。

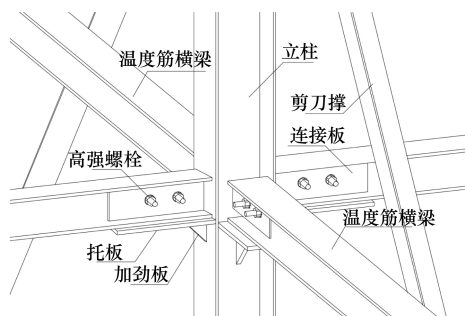


图 7 温度筋横梁与立柱连接节点示意

2.3 面横梁与立柱连接

面横梁与立柱顶部采用放 + 焊形式,其中短跨横梁为主受力梁,设计为连续设置。为确保连续性,相同规格的横梁采用翼缘坡口焊接连接、腹板高强螺栓连接的方式,若横梁规格不一致,则采用端部加焊端板再焊接的做法。先安装短跨横梁,再安装长跨横梁。横梁与立柱托板进行焊接连接,焊缝形式为角焊缝。将横梁放置在托板之上,随后通过连接板与主受力横梁进行高强螺栓连接,再将长跨横梁下翼缘与立柱顶部托板进行焊接,将长跨横梁上翼缘与短跨横梁上翼缘进行焊接,如图 8 所示。

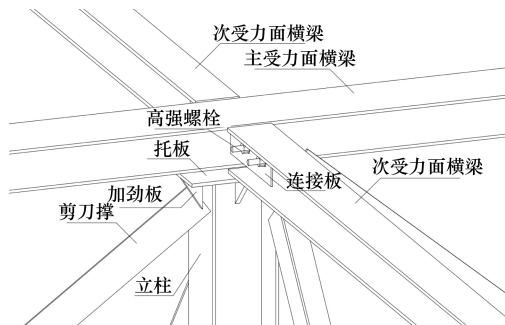


图 8 面筋横梁与立柱连接节点示意

为确保集水坑或电梯井面筋的顺利铺设,需要在指定标高设置横梁,且要求横梁标高低于集水坑、电梯坑成型面向下相应高度(面筋厚度 + 保护层厚度)。

2.4 底板斜坡支架安装

超厚底板的边坡角度多为 $45^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 。此处钢筋铺设须辅以型钢基础,钢筋保护层采用槽钢作为垫块,布置间距为 2 m,竖向放置于斜坡之上,槽钢之间采用小直径钢筋进行拉结固定,间距不大于 500 mm。当底筋开始铺设绑扎时,尤其是斜

坡钢筋开始绑扎时,若钢筋与槽钢垂直,可在槽钢之上焊接短钢筋头用于放置钢筋;若钢筋与槽钢平行,可直接与小直径拉结钢筋进行绑扎连接。

3 应用实例

3.1 塔楼底板基坑概况

苏州中南中心工程基坑总面积约为 $26\,260\text{ m}^2$,基坑总周长约为 695 m,分为北侧地下二层区与南侧地下六层区。其中地下六层区面积约为 $23\,430\text{ m}^2$,基坑周长约为 637 m。地下六层区地下室整体采取“裙房先逆作、塔楼后顺作”的施工顺序,待裙房底板混凝土浇筑完后进行塔楼底板的施工。

塔楼底板大面区域厚度为 6.1 m,坑中坑区域经优化后厚度为 7.9 m/6.7 m,垫层为 200 mm 厚 C20 混凝土。塔楼底板平面面积约为 $7\,800\text{ m}^2$,形状呈十二边形,东西长度为 92.5 m,南北长度为 93.4 m,并在东侧设计有一道混凝土边桁架,如图 9 所示。

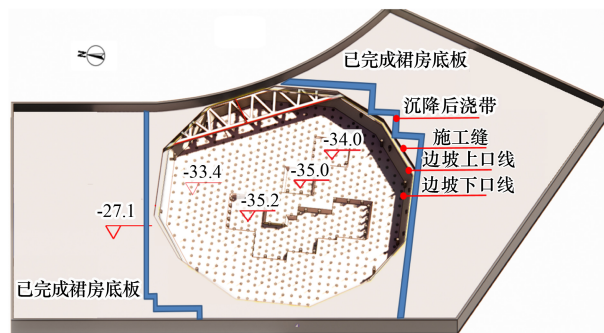


图 9 塔楼基坑示意

m

3.2 钢筋工程概况

塔楼底板主要受力钢筋采用直径为 40 mm 的 HRB500 钢筋,抗裂温度筋采用直径为 20 mm 的 HRB400 钢筋,分布钢筋采用直径为 16 mm 的 HRB400 钢筋,总钢筋量约为 9 411.8 t。根据底筋的分布方式和分布层数,将整个大底板分为角部、巨柱和核心筒区域。其中角部区域底筋 B 为 8 排直径为 40 mm 的 HRB500 钢筋,核心筒剪力墙区域为 14 排直径为 40 mm 的 HRB500 钢筋及两排直径为 16 mm 的 HRB400 分布钢筋,巨柱区域为 16 排直径为 40 mm 的 HRB500 钢筋及 4 排直径为 16 mm 的 HRB400 分布钢筋。面筋 T 均布 4 排直径为 40 mm 的 HRB500 钢筋,3 道抗裂温度筋在中间区域均匀布置,如图 10、11 所示。

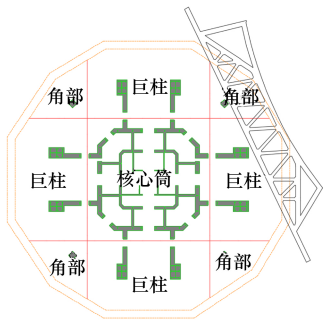


图 10 塔楼底板钢筋区域划分

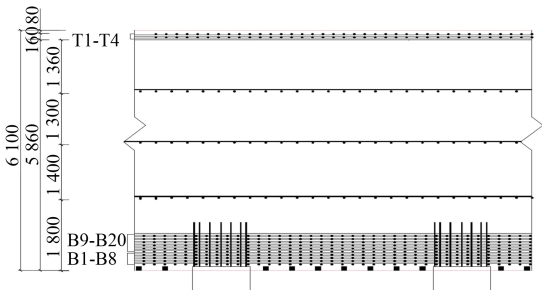


图 11 巨柱区域钢筋排布竖向分布示意 mm

3.3 超厚基础底板大跨度组装式钢筋支架应用概况

立柱采用 HW150 mm × 150 mm × 7 mm × 10 mm 型钢，底部采用 150 mm × 150 mm × 10 mm 铁板做垫脚，在立柱相应位置焊接托板、连接板，立杆间距最大为 6.9 m × 5 m，常规布置 6 m × 4 m。

面筋大面区域采用 HW125 mm × 125 mm × 6.5 mm × 9 mm 型钢作为短跨主受力横梁，插筋密集区域(巨柱、剪力墙)采用 HW150 mm × 150 mm × 7 mm × 10 mm 型钢作为短跨主受力横梁，长跨非主受力横梁采用 HW125 mm × 125 mm × 6.5 mm × 9 mm 型钢。温度筋均采用 HW100 mm × 100 mm × 6 mm × 8 mm 型钢作为横梁。沿非主受力横梁方向每 2 ~ 3 跨设置一道连续 L65 mm × 4 角钢剪刀撑，沿主受力横梁方向每两跨设置一道连续 L65 mm × 4 角钢剪刀撑，如图 12 所示。

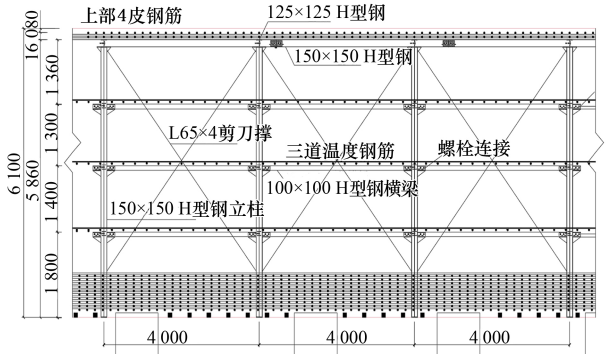


图 12 巨柱区域钢筋排布竖向分布示意 mm

3.4 钢筋支架安全验算

根据施工工况推演，温度筋铺设时，以第二道为例，人员站立在第一道温度筋横梁之上铺设第二道温度筋，钢筋长度为 9 m/12 m，单跨 6 m 区域内人员为 1 人，取跨中最大集中活荷载 1 kN；面筋铺设时，12 m 长、直径为 40 mm 的钢筋单根质量约为 118 kg，需要 4 ~ 5 个人相互间隔 2.4 ~ 3.0 m 搬运，单跨 6 m 区域内人员为 2 ~ 3 人，取跨中最大集中活荷载 3 kN。

综上，面筋恒载：4 排、197.44 kg，活载：巨柱核心筒区域为 1.0 kN/m²，其他区域跨中最大集中荷载为 3.0 kN。温度筋恒载：两排、19.74 kg，活载：跨中最大集中荷载为 1.0 kN。

对钢筋支架整体建模，如图 13 所示。布置荷载时，按照最不利工况验算，面横梁各项应力比：强度应力比为 0.86、稳定应力比为 0.91、剪应力比为 0.31；温度筋横梁各项应力比：强度应力比为 0.32、稳定应力比为 0.39、剪应力比为 0.06；立柱各项应力比：强度应力比为 0.42、X 方向稳定应力比为 0.33、Y 方向稳定应力比为 0.41，如图 14 所示。面筋抗度：6 m 跨最大为 10.5 mm，4 m 跨最大为 4.51 mm；温度筋挠度：6 m 跨最大为 6.13 mm，4 m 跨最大为 1.17 mm。

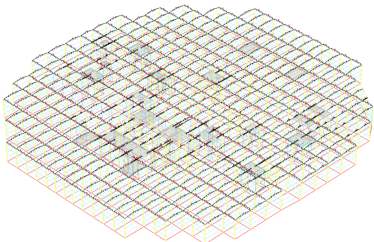


图 13 钢筋支架结构计算模型

4 结 语

超厚基础底板大跨度组装式钢筋支架立柱可有效避开电梯井、集水坑内部区域，保证了立柱的规格统一性，便于支架深化设计以及现场施工。其所包含的预埋件、护筒、立柱、横梁、剪刀撑等部件，可实现工厂化制作，有效保证了产品的质量，且减少大量的焊接作业。通过在地面拼装、塔吊吊运方式，可完成单榀支架安装，无需单根构件单独作业，大大减少吊装作业量。钢筋支架跨度大，钢筋吊运时难度减小；人员操作空间充

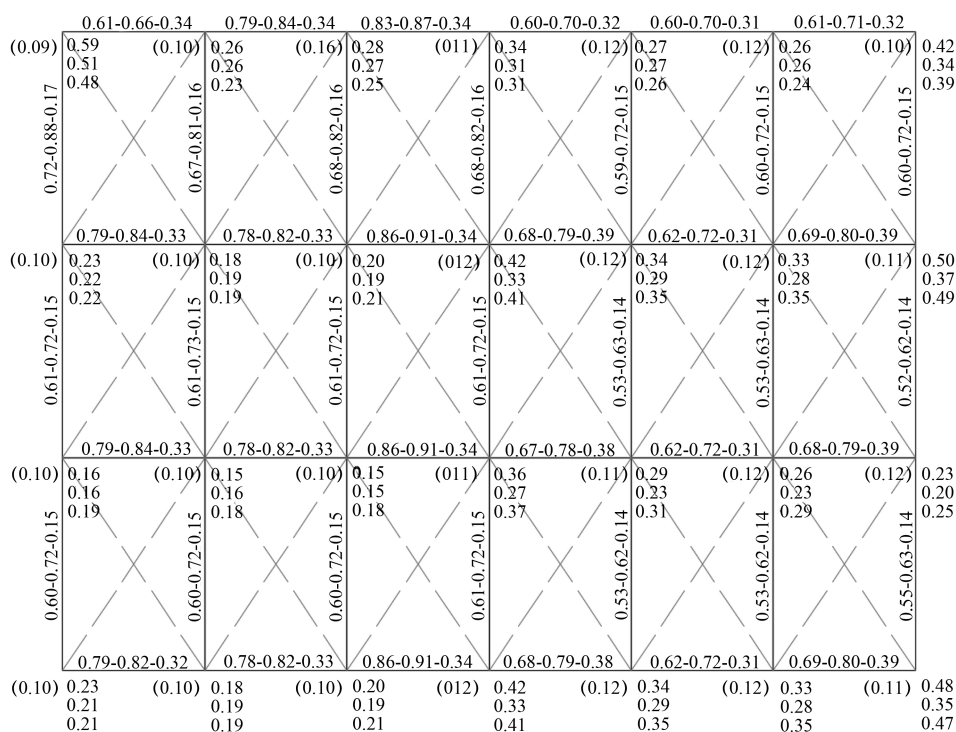


图 14 温度横梁应力比柱应力比及 XY 稳定应力比

足,可提供多名人员同时施工的操作面。以上优势均可以大大加快施工进度,加快钢筋绑扎、铺设速度,减少超厚底板基坑暴露时间,保障超深基坑的安全。

参考文献:

- [1] 朱岩. 大体积混凝土筏板施工技术[J]. 工程建设, 2008(2): 41-45.
- [2] 张鹏, 曾信, 席志丹, 等. 超厚异形筏形基础粗大钢筋加工及安装质量控制技术[J]. 建筑技术, 2021, 52(12): 1428-1430.
- [3] 龚达, 鲍旺, 续文昊, 等. 某临地铁深基坑平行分区施工方案分析比选[J]. 工程建设, 2021, 53(1): 43-47.
- [4] 叶建, 余地华, 胡佳楠, 等. 天津高银 117 大厦底板钢筋施工关键技术[J]. 施工技术, 2016, 45(19): 1-3; 6.
- [5] 周申彬, 杨红岩, 侯天扬, 等. 超厚基础底板多层大直径钢筋安装技术[J]. 施工技术, 2017, 46(23): 92-94.
- [6] 柯子平, 杨红岩, 于海申. 深基坑超厚底板钢筋支撑体系设计及施工技术[J]. 施工技术, 2017, 46(S1): 88-90.
- [7] 张鹏, 杨猛, 阙显阳, 等. 型钢支架在超厚筏形基础施工中的应用[J]. 建筑技术, 2019, 50(10): 1170-1172.
- [8] 田卫国, 令狐延, 管聪聪, 等. 合肥恒大中心 C 地块高强大体积混凝土施工技术[J]. 施工技术, 2017, 46(24): 1-7.
- [9] 蒋凯, 张轩奎, 薛磊, 等. 中国尊大厦底板高性能钢筋综合施工技术[J]. 施工技术, 2019, 48(4): 17-19.
- [10] 宗秀金, 陈川, 师朋, 等. 苏州中南中心超高层塔楼施工部署研究[C]//2022 年全国土木工程施工技术交流会论文集(下册). 北京: 施工技术, 2022.