

越南中心城区老基坑逆作法施工综合技术研究

马尧

上海建工五建集团有限公司, 上海 200062

[摘要]为研究逆作法深基坑工程相关施工技术特点,改进优化海外老基坑的设计与施工方法,以越南中心城区某老基坑工程项目为例,进行了逆作法施工技术的研究。结合中、越两国多家设计咨询审查单位分析计算,提出相应加固、改造措施方案,结合监测数据,有效解决了场地局促、环境复杂等问题,保证了基坑与周边环境的安全。

[关键词]逆作法;围护加固;结构改造;变形监测

DOI: 10.33142/ect.v3i1.15134

中图分类号: TU973

文献标识码: A

Research on Comprehensive Technology of Reverse Construction Method for Old Foundation Pits in Central Urban Areas of Vietnam

MA Yao

Shanghai Construction No. 5 Construction Group Co., Ltd., Shanghai, 200062, China

Abstract: In order to study the construction technology characteristics of deep foundation pit engineering using reverse method and improve and optimize the design and construction methods of overseas old foundation pits, this study takes a certain old foundation pit engineering project in the central urban area of Vietnam as an example to conduct research on reverse method construction technology. Based on the analysis and calculation of multiple design consulting and review units in China and Vietnam, corresponding reinforcement and renovation measures were proposed. Combined with monitoring data, the problems of site confinement and complex environment were effectively solved, ensuring the safety of the foundation pit and surrounding environment.

Keywords: reverse method; enclosure reinforcement; structural renovation; deformation monitoring

引言

随着科学技术的发展,尤其是建筑工艺的大幅度进步,近年来,深基坑工程在数量上急剧增加,在技术上也有了长足的进步。逆作法施工技术是先施工地下连续墙,同时在建筑物内部有关位置施工中间支撑临时柱,作为施工期间于底板封底前承受上部自重与施工荷载的竖向支撑。而后施工逆作楼层水平结构,作为地墙或其他围护的水平支撑,随后逐层向下开挖与浇筑各层结构,直至底板封底,再向上回筑竖向结构构件。逆作法施工技术的应用,可有效提高建筑密集区域深基坑作业的安全性,而且能有效缩短工期、降低临时支护成本,大幅减少对周边环境的影响。

本文以越南中心城区某老基坑工程为例,阐述了逆作法施工技术在基坑工程中的应用,对该工程逆作法围护支撑设计、逆作法结构楼板优化改造、基坑周边监测等重点难点进行分析,为类似工程施工工艺选择及变形控制提供参考依据。

1 工程概况

本项目位于越南胡志明市的CBD商业区内,本项目工程综合商用及住宅功能,通过各物业功能和形态之间的相互促进,相互补充,共同提升项目整体形象,将本项目打造为胡志明市第一郡核心商区综合体。

项目总建筑面积163669.61 m²,其中地上总建筑面积约133169.61 m²,地下总建筑面积约30500 m²,地上部分

49层,地下4层。地上由9层商业裙房、两座塔楼组成,塔楼高度为221.8m。塔楼选用钢筋混凝土框架-核心筒结构体系,现浇混凝土板;裙房为钢筋混凝土框架结构,中庭区域采用钢桁架。建筑外立面采用玻璃幕墙。



图1 项目效果图

本项目作为海外老深基坑工程,基坑普遍深度为15.45m,最深开挖深度为21.8m,采用逆作法施工工艺,周边建筑、管线、地质水文条件复杂,工程桩、围护体系分三次在10余年间由其他施工单位完成。

2 逆作法施工综合技术研究

2.1 逆作法围护加固技术

本工程基坑普遍深度为15.45m,最深开挖深度为21.8m,工程桩、钢立柱、地下连续墙、咬合桩等桩基及围护体系分三次在10余年间由其他施工单位完成,地处胡志明市中心,西侧北侧紧靠居民区、中学,建筑结构为砖混结构,受

扰动能力薄弱，东侧为著名酒吧街，周边环境复杂。

项目部在中、越两国多家设计咨询审查单位的合作下，通过 Plaxis、Midas 等有限元分析软件，对基坑围护结构的变形、型钢立柱反力、地下室逆做楼板受力等内容进行了计算复核。

基于两国设计咨询审查单位的计算与复核，得出相关的结论与建议。在本工程基坑逆作法开挖至坑底阶段，基坑围护存在如下两个安全风险点，项目部即采取相应的加固措施。

2.1.1 坑底 K 撑加固

经围护结构验算后，塔楼 3m 厚底板，围护体系稳定性不满足要求。基坑塔楼区域（3m 厚底板区域），在 B3 板与底板之间，开挖至 K 撑围檩底标高（约-14.600），拟加设 K 撑，土方开挖各工况的围护结构变形才能满足安全要求。

临时钢支撑选用双拼 H400X400X13X21，Q345，双肢轴心间距 600mm，角撑型钢长度不应大于 12m，间距不应大于 3m；斜 K 撑型钢长度不应大于 10m 且间距不应大于 4m，斜 K 撑需布置八字撑。H 型钢需布置加劲肋，各焊接节点采用等强连接。为确保节点传力可靠性，斜 K 撑上节点支撑于钢立柱与楼板节点处。

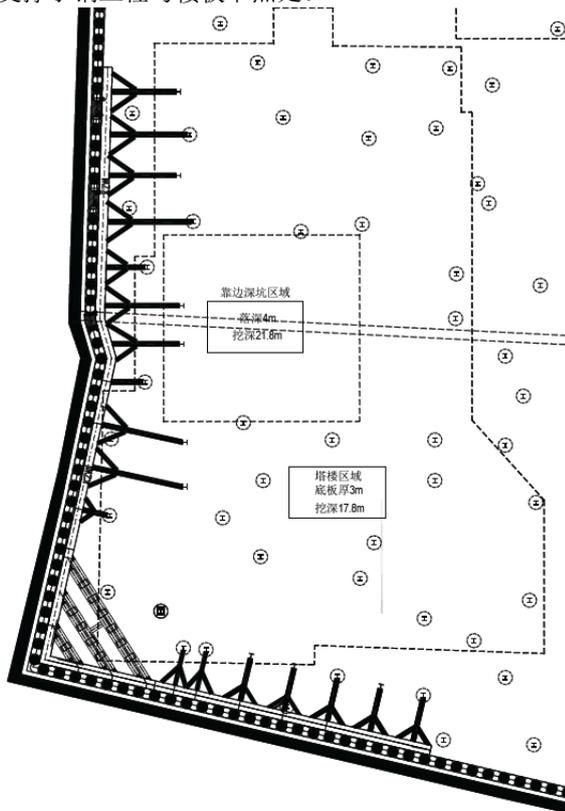


图 2 坑底 K 撑围檩平面布置图

2.1.2 深坑加固

开挖 21.8m 处深坑区域，原设计未考虑围护加固体系，

施工存在风险。靠近深坑区域周边，拟增加 $\varnothing 800@600$ 二重管高压旋喷桩加固+一道水平钢角撑的方式，增加该区域的围护刚性。

深坑开挖流程：施工深坑区域高压旋喷桩——开挖至塔楼基底——浇筑深坑范围外的底板（含暗埋于底板的砼围檩）——待先浇底板养护完成后，架设深坑钢角撑——开挖靠边深坑区域土方至深坑底——浇筑完成深坑区域混凝土——割除钢角撑

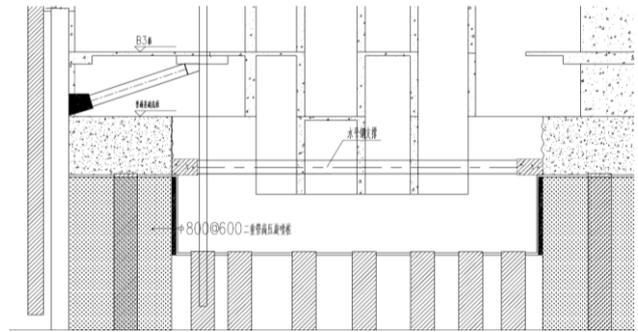


图 3 电梯深坑剖面图

2.2 逆作法临时支撑优化、再利用技术

2.2.1 临时立柱支撑优化

本工程为非一柱一桩式逆作法，钢立柱仅作为逆作法施工阶段临时竖向支撑使用，后期完成地下室永久结构后，将对临时支撑进行拆除。原设计方案中，钢立柱与结构楼板的连接方法通过临时混凝土柱帽，以此来增强该节点的抗冲击力。

本工程原设计利用了 150 根临时钢立柱，意味着四层楼板将产生 600 个临时混凝土柱帽，但当地下室全部完成后，混凝土柱帽将对建筑的使用造成影响，为避免实际使用功能的受限，必须对其进行剔凿，后期垃圾外运、楼面修复将浪费大量的资源与成本。

为减少施工时间、节约人工，项目部通过计算，将混凝土柱帽优化成可拆卸钢柱帽与埋入式加强牛腿，通过钢梁（牛腿）与钢立柱进行连接，满足受力要求的前提下，大幅提高了后期拆除的施工效率，并降低了拆除过程中的安全风险，提升了结构质量。



图 4 钢柱帽现场施工照片

经越南当地第三方审查单位计算分析，提出 B1-B3

层板的临时混凝土柱帽直接取消,在梁板内部增加弯起钢筋、小牛腿与抗剪钉,满足抗冲切要求,简化了施工步骤,且后期不需要清理,直接留置在梁板内部。



图5 楼板立柱支撑加固现场照片

2.2.2 临时立柱再利用

根据计算分析结果,大面开挖至坑底时,部分立柱不能满足强度与稳定性要求,单根立柱所分担的荷载面积过大。且在部分区域由于钢立柱离取土口较远导致取土口成为悬臂梁、悬臂板,呈现一定的风险。

由于本工程钢立柱存在屈曲风险,需要进行加固处理,根据本工程特性,不适合再施打新增钢立柱,在了解项目特殊性后利用原工程中已经施工的老立柱(10年前),其型号为350*400*20*20(截面面积略大于新立柱),对新立柱所承担的受荷面积进行分散受力,减小新立柱的竖向受力面积,以达到满足整个项目竖向承载处于可控范围的目的。

考虑到老立柱已经施工了一段时间,强度可能有一定折减,虽然经检测后其强度满足受力要求,但在计算中仍只考虑按其一一半承载力进行控制。而后根据行车方案的多次优化后,最终确定增加利用了24根老钢立柱,局部受力较大地方采用留洞后补措施,并限制一定范围内的堆载。

由于钢立柱在层层荷载累计后,在B3-B4层受力最大,并且在B4层开挖时,最后一层土方开挖底标高至B3层板顶距离为6.4m,深度较深且偏心距也加大,稳定性不足。采用斜向钢支撑对不满足要求的立柱进行加固,增加侧向约束以减小计算长度,从而对压弯稳定性进行加强,具体做法是在B3层钢立柱顶部和侧面增设钢支撑,H型钢型号为500*300*12*18和200*100*5.5*8。

2.3 逆作法结构改造和施工措施应用技术

2.3.1 逆作法地下室结构改造优化技术

设计单位在设计阶段未考虑逆作法施工阶段受力情况,仅考虑永久结构的受力情况,由于逆作法施工竖向结构后做,受力形式与永久结构阶段完全不同。

本工程逆作法并不是一柱一桩类型,梁板与永久柱和临时柱的受力并不一致,根据设计图纸建议楼板活荷载,经过越南第三方设计审查单位的计算复核,需要对板和梁

做加固,局部增加梁板钢筋。

为满足逆作法施工需求,在楼板设置七个取土孔,根据实际梁板结构布置,在原设计基础上,仅做微调。由于取土孔的面积较大,在经过计算后,增加相应钢支撑、混凝土上翻梁及附加钢筋。

在北侧跨度较大且无钢立柱支撑区域,为了满足水平力的传递,在此区域增加临时梁与柱帽,后期竖向结构施工完成后,将增加的临时梁及柱帽凿除。



图6 越南第三方设计审查单位审查模型(Etabs)

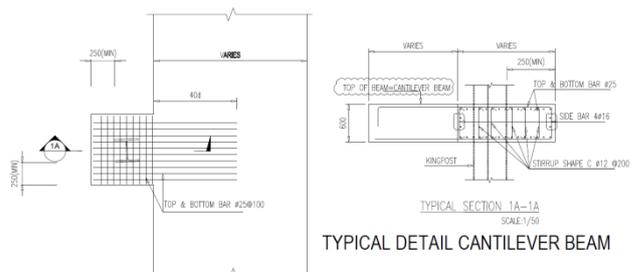


图7 局部附加临时上翻柱帽详图

2.3.2 逆作法基坑施工技术措施应用

本项目占地面积8321m²,基坑占地面积7397m²,基坑外仅能布置零星临时办公场所、临时仓库,主要加工设施如钢筋加工棚及钢筋堆场布置在首层板,围绕7个取土孔设置行车道路,尽量环通覆盖整个项目。

因首层板结构标高多,最大高差约0.5m,在局部出入口高差位置,填筑轻质混凝土坡道,且需要避开首层板预留竖向钢筋,使本工程行车道大致能够形成环通。

本工程地下室根据后浇带可分为6个区域,项目部在组织当地劳动力时,安排了2个班组,分别施工3个区域,为满足各班组的施工需求,在靠近首层板的行车道路周边,

设置了 2 处钢筋加工场地, 2 处木工加工场地。
根据越南劳动力的特殊需求, 无需设置生活区, 工人每日骑摩托车上下班, 高峰期项目部拟投入工人约 1300 人, 场地布置时, 考虑了专门的停车场。
在 B1~B3 层设置周转材料堆场, 通过在取土孔设置悬挑卸料平台, 驳运楼层间的材料, 进一步缓解首层板堆场紧张的压力。

逆作法施工地下结构时, 在已完成的楼板下进行土方开挖, 由于暗挖阶段作业条件差, 坑内视线差, 且因为通风条件受限, 坑内有毒气体含量高。为了在逆作法施工阶段提供良好的施工环境, 在坑内增加轴流风机, 可根据需要做排风与送风, 在梁板下方布置 LED 灯带, 满足照明需求。

2.4 逆作法深基坑施工变形监测技术

2.4.1 周边环境监测技术

本工程基坑开挖深度超过 15m, 基坑开挖 1.5 倍范围内的有 68 栋建筑物。(1) 建筑物数量多, 建筑间距小, 密集程度高;(2) 结构薄弱, 受扰动造成影响大;(3) 建筑物地处闹市区, 且包含文保建筑, 保护要求高。

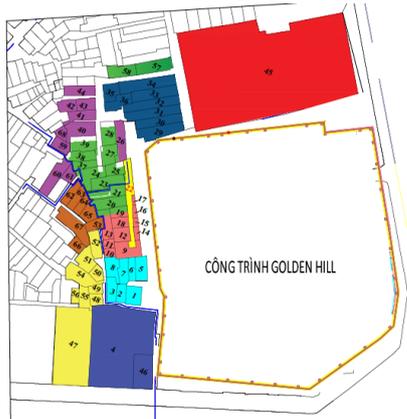


图 9 周边房屋平面图

周边房屋监测以监测裂缝与发展为主, 借助裂缝宽度尺、卷尺、相机、平面图等工具, 记录监测周期内, 新裂缝的产生、旧裂缝的发展。配合基坑变形监测内有关的监测数据, 辅助判断周边房屋的受影响程度, 以达到提前警示居民群众、及时采取相应措施的目的。

2.4.2 基坑变形监测技术

本工程基坑普遍深度为 15.45m, 塔楼底板开挖深度 17.85m, 电梯井开挖深度 21.8m。围护结构为地下连续墙与咬合桩的结合形式, 地墙分两次在 10 余年前由其他施工单位完成, 厚度 800mm, 深度分别为 23m 与 30m。除北侧靠近学校区域仅由咬合桩(桩长 34m)组成, 其余区域均为地下连续墙与咬合桩(桩长 26.3m)共同组成。

本项目基坑开挖深度深, 围护体系组成类别多, 周边环境复杂, 故在基坑开挖阶段, 对基坑进行了一系列变形监测, 包括基坑围护及周边的地质变形监测, 如周边房屋、道路、地墙、咬合桩的沉降、倾斜; 基坑内外的水力情况

监测, 如地下水位、水压力; 且沿基坑四周布置了 8 口回灌井, 待必要时启用, 减小基坑外的水头差。基坑变形监测技术的研究, 在本项目正常开展阶段, 提供了有利的支撑工作。基坑开挖阶段, 基坑围护位移最大值为 34.44mm, 报警值为 70mm, 基坑安全满足要求。

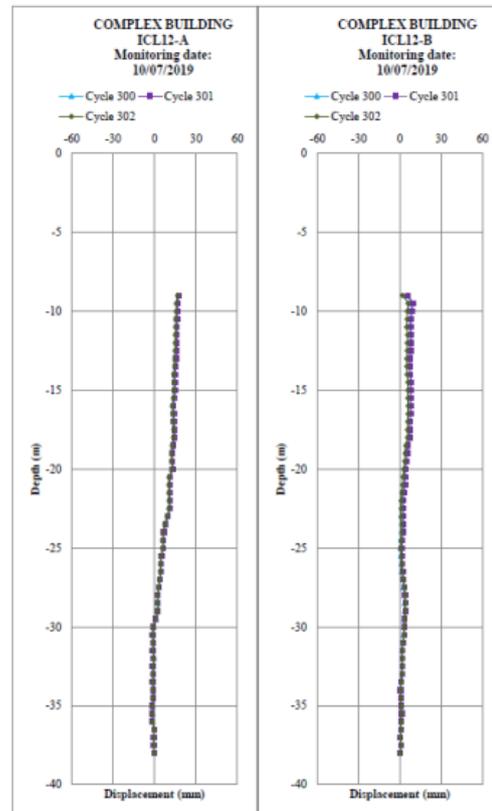


Table 4.3. Bảng quan trắc tổng hợp chu kỳ 382/ Monitoring Total

| NO | Monitoring type | Date | Alarm value(mm) | | Actual value | | | | Remark |
|----|---|------------|-----------------|----------------|------------------|---------------|---------------|---------------|-----------------------------|
| | | | Dailychange | Totally change | Daily change max | Location | Max | Location | |
| 1 | Neighbor house Settlement monitoring | 2019.08.17 | 2 | -9.00 | - | - | -7.19 | BSM9 | |
| | | 2019.08.24 | | | - | - | -8.38 | BSM9 | |
| 2 | Neighbor house Tilt monitoring | 2019.08.17 | 2 | PR1 : 8.00 | - | - | 6.00 | PR1 | |
| | | 2019.08.24 | | | - | - | 6.00 | PR1 | |
| 3 | Ground water level monitoring | 2019.09.04 | | | 0.10 | MW2 | -15.40 | MW4 | |
| | | 0.30 | | | MW14 | -10.80 | MW9 | | |
| | | -0.10 | | | MW3 | -15.40 | MW6 | | |
| | | -0.20 | | | MW9 | -11.00 | MW9 | | |
| 4 | Road Settlement monitoring | 2019.08.17 | 2 | -9.00 | - | - | -13.81 | GSM10 | |
| | | 2019.08.24 | | | - | - | -14.03 | GSM10 | |
| 5 | Secant pile wall inclination monitoring | 2019.08.04 | 4 | 70 | 0.97 | ICL05 (-8.5m) | 34.44 | ICL05 (-8.5m) | Sliding into the excavation |
| | | 0.61 | | | ICL09 (-14.0m) | 33.95 | ICL05 (-8.5m) | | |
| 6 | Diaphragm wall inclination monitoring | 2019.09.04 | 4 | 70 | 1.19 | INC04 (-0.5m) | 34.39 | INC02 (-9.0m) | Sliding into the excavation |
| | | 1.14 | | | INC07 (-2.5m) | 34.12 | INC02 (-9.0m) | | |

图 11 基坑变形监测报告

3 结语

本文以越南中心城区某老基坑工程为对象, 对该项目逆作法施工技术在基坑工程施工过程中的应用进行研究, 对该工程逆作法围护支撑设计、逆作法结构楼板优化改造、基坑周边监测等重点难点进行分析总结, 得到以下结论:

(1) 通过 Plaxis、Midas 等有限元分析软件对基坑围护、逆作法施工工况进行计算分析, 提出基坑围护加固、

结构改造等方案,通过场地合理布置等措施手段,根据实测监测数据表明,基坑围护及逆作法施工变形均在要求范围内。

(2)逆作法施工工艺在建筑密集老城区、场地条件受限、周边环境复杂区域应用,可有效控制基坑围护开挖阶段的变形,是超深基坑开挖有效的技术手段之一。

[参考文献]

[1]詹晓波,纪元刚,等.建筑密集地区深基坑逆作法设计

与施工技术研究[J].建筑结构,2022(5):6.

[2]颜立明.逆作法在复杂环境深基坑工程中的应用研究

[J].岩土工程技术,2021(4):45.

[3]陈银波,苏恒强,等.地下空间新型逆作法关键技术的联合应用[J].建筑结构,2020(8):89.

作者简介:马尧(1989.11—),毕业院校:淮海工学院,所学专业:土木工程,当前就职单位:上海建工五建集团有限公司,职务:项目工程师,职称级别:中级工程师。