

超大基坑框架逆作法关键施工技术

刘 溢^{1, 2, 3}, 李镜培^{1, 2}, 陈 伟⁴

(1. 同济大学土木工程学院地下建筑与工程系, 上海 200092; 2. 同济大学岩土及地下工程教育部重点实验室, 上海 200092;
3. 上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海 200092; 4. 上海陆家嘴金融贸易区开发股份有限公司, 上海 200127)

摘 要: 上海陆家嘴塘东中块总部基地基坑工程采用了地下结构框架梁柱作为基坑的支撑, 墙体和楼板顺做的框架逆作法, 是该地区很有特色的工程案例。主要介绍了该工程设计施工的两项关键技术, 包括盆式和分层分块平衡对称抽条开挖和逆作法主要施工节点处理、不均匀沉降控制等, 为类似工程起到了示范作用。

关键词: 超大基坑; 框架逆作法; 施工技术

中图分类号: TU470

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2013)S1-0489-06

作者简介: 刘 溢(1988-), 男, 江苏武进人, 硕士研究生, 从事岩土工程研究。E-mail: shangdaly@qq.com。

Key construction techniques for oversized excavation pits using top-down method

LIU Yi^{1, 2, 3}, LI Jing-pei^{1, 2}, CHEN Wei⁴

(1. Department of Geotechnical Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China; 2. Key Laboratory of Geotechnical and Underground Engineering of Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 200092, China; 3. Shanghai Municipal Engineering Design Institute(Group)Co., Ltd., Shanghai 200092, China; 4. Shanghai Lujiazui Finance and Trade Zone Development Co., Ltd., Shanghai, 200127, China)

Abstract: The deep foundation pit of the headquarter base of Tangdong central block in Lujiazui of Shanghai is constructed by use of the top-down method. It is a very distinctive engineering case in this area. Some key design and construction techniques are introduced. They include rational planning of soil excavation, treatment of critical construction nodes and control of uneven settlement, etc. The success of this case may provide engineering experience for similar projects.

Key words: oversized excavation pit; top-down method; construction technique

0 引 言

逆作法对于工期紧、施工场地有限、平面幅员规模大的深基坑工程具有许多优势, 目前已得到广泛的运用^[1]。

针对逆作法的施工特点和所在场地的特殊条件, 结合顺作法的某些技术对逆作法进行调整, 可以兼顾顺作和逆作的优点, 提高基坑施工效率和安全^[2]。上海陆家嘴塘东中块总部基地基坑工程设计对此进行了大胆创新, 采用了地下结构框架梁柱作为基坑的支撑, 墙体和楼板顺做的方式, 在缩短工期的同时也节约了造价, 同时解决了常规逆作法中土方暗挖的难题, 典型示范效果显著。本文总结了该工程设计施工关键技术, 以期对今后类似工程的借鉴有所裨益。

1 工程概况

拟建的上海陆家嘴塘东总部基地地下空间开发项

目, 建设地点位于浦东新区锦康路、东锦江大酒店、杨高南路、花木路的合围地块(如图1所示), 总用地面积为53400 m²。基坑呈长方形, 东西长约251 m, 南北宽约189 m。基坑总面积约46240 m², 围护总长度约957 m。地下室3层层高分别为6.5, 3.6, 3.6 m, 基础底板建筑板面标高为-13.700 m, 塔楼区基坑开挖深度为13.9~15.2 m; 裙房区基坑开挖深度为13.6 m。

本工程基坑围护结构采用1.1 m直径的钻孔灌注桩围护, 围护桩外侧采用三轴水泥土搅拌桩作止水帷幕, 钻孔灌注桩与止水帷幕之间采用压密注浆加固填充。坑内加固采用深层搅拌桩及压密注浆, 其中沿围护桩内侧采用双轴搅拌桩进行加固, 对于电梯井、集水井等局部落深区采用三轴水泥土搅拌桩进行加固, 并且对坑内采用压密注浆进行坑底加固。非主楼区利

基金项目: 上海市科委资助项目(10231200500)

收稿日期: 2013-03-02

用 3 道结构梁作支撑，主楼区域采用 3 道临时混凝土支撑，支撑均在同一标高面上。第一道支撑布置施工栈桥，栈桥宽度 9.2 m。栈桥作为结构楼板，不予拆除。在第一、二、三道支撑处设置的围檩，支撑梁（即结构梁）支撑于围檩上；在底板边缘设置传力带，使底板支撑于围护结构上。立柱采用 430×430 钢格构柱，立柱桩采用直径 Φ800 钻孔灌注桩。立柱桩分为一柱一桩的永久性立柱和临时立柱两种形式，永久性钢格构立柱在逆作施工结束后外包钢筋混凝土形成主体结构柱，临时钢格构柱待地下室结构全部完成并达到强度后割除。

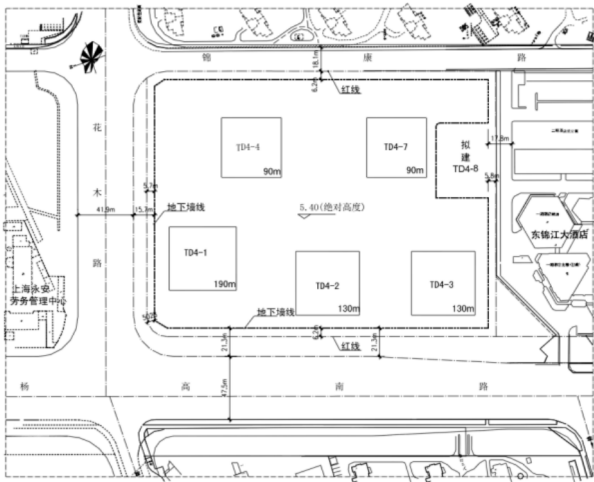


图 1 总平面图

Fig. 1 Plan view of excavated area

2 关键施工技术

2.1 土方工程

本工程基坑总面积较大，约 46240 m²，为一个平面矩形；基坑开挖深度为 13.6~15.2 m。土方总量约 65.1×10⁴ m³，为大型地下结构及深基坑工程。根据围护支撑情况基坑分区分层开挖，中央盆式开挖，同时为遵循“分层、分块、尽早形成支撑或底板”的原则^[3]。综合本工程特点及围护工程设计要求，拟定了平面分块开挖计划，分为中部盆式开挖①~④区，周边平台开挖间隔划分为⑤、⑥区，按照分区编号依次进入挖土阶段（如图 2 所示）。

根据“时空效应”的理论，应该严格按照“分层、分区、平衡、限时”的要求进行开挖，紧扣挖土与支撑施工的工序衔接。采用盆式开挖的方式时，先开挖基坑内中间区域的土方，待中间部位的支撑形成后，再开挖两侧留土，并快速组织支撑施工（图3）。在施工过程中应严格遵循“先撑后挖，见底覆砼”，确保基坑支撑围护系统的安全。在开挖至坑底时，砼垫层应随挖随浇，一般在开挖至基坑底的标高后，应在24 h 内完成砼垫层的浇筑。根据开挖进度，应提前在围护

墙边预先开挖应力释放沟，使围护墙的侧压力逐步得到卸载，应力释放沟的深度一般为2 m左右，确保基坑围护墙的安全与稳定。根据施工规范，应按照坑底土体标高的设计要求，预留20 cm人工钎平，严禁超挖，以免扰动坑底土体，确保基础的工程质量。土方开挖时，基坑围护的周边范围严禁堆放重物，堆放物品的荷载必须控制在设计允许的范围内。

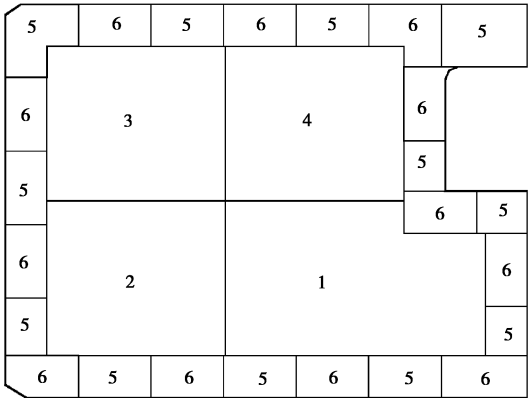


图 2 盆式开挖土方分块示意及开挖顺序布置

Fig. 2 Arrangement of soil excavation

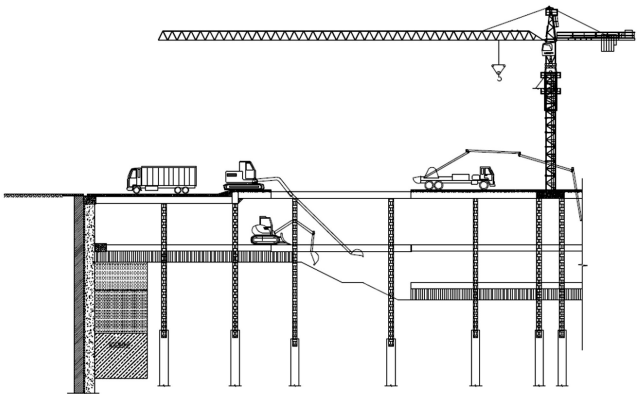


图 3 土方盆式开挖剖面图

Fig. 3 Sectional view of soil excavation

根据基坑围护设计方案中的具体要求，基坑土方的开挖施工采取分层、分区及盆式开挖的方式。①分层。按照支撑的设计标高分层为3层：第一道支撑/第二道支撑为第一层（分层分区或盆式分区）；第二道支撑/第三道支撑为第二层（分层分区或盆式分区）；第三道支撑以下为第三层（盆式分区）盆式：盆式开挖的目的，是为了在基坑的周边预留相当一部分的原土，用以保护围护墙，所以按照“先中间、后外围”的次序开挖。在开挖盆边的土方时，原则上应该按照分区的编号平衡、对称开挖。②分区。第一、第二层的分区：按照盆式开挖的方式，盆的中间为一个大区，先行开挖，在完成该区域内的支撑施工后再开挖盆边，盆边的分区原则以支撑的受力轴线为对称的两个分区单位为对称开挖区。第三层围护边（盆边）的分区：根据设计的要求，按照后浇带的分布位置分区、编号。

③盆式分区。以基坑的中部为一个大区（盆底），以围护边为若干小区（盆边），并且按照平衡、对称的原则逐一编号，盆边的护壁留土宽度不小于20 m。首先开挖基坑的中部，在完成基坑中部的支撑施工后，然后再开挖盆边的土，开挖盆边土的时候必须按照分区的编号顺序平衡、对称的施工。

2.2 节点处理

本工程非主楼区利用三道结构梁作支撑，主楼区域采用三道临时混凝土支撑。第一道支撑布置施工栈桥，栈桥作为结构楼板，不予拆除。在第一、二、三道支撑外缘分别设置围檩与围护钻孔灌注桩连接受力，支撑梁（即结构梁）支撑于围檩上；在底板边缘设置500 mm厚传力带，使底板支撑于围护结构上。主楼区设圆环形式的临时支撑，通过主楼区围檩传力至主楼周边先浇筑的结构梁板上。

由于除主楼位置外，支撑梁均兼作结构梁，故对结构支撑梁施工的尺寸、位置、标高、施工质量等均有很高的要求^[4]。根据设计要求，结构梁施工容许偏差如表1所示。

表 1 结构梁施工容许偏差

Table 1 Allowable errors of structural beams	
项目	容许偏差值
钢筋混凝土支撑截面尺寸	+5 mm, -3 mm
支撑中心标高及同层支撑顶面的标高差	不大于 10 mm
支撑两端的标高差	不大于 10 mm 及支撑长度的 1/800
支撑的挠曲度	不大于支撑长度的 1/1500
支撑与立柱的轴线偏差	不大于 20 mm
支撑水平轴线偏差	不大于 10 mm

(1) 围护桩与框架梁的连接

在第一、二、三道支撑外缘分别设置围檩与围护钻孔灌注桩连接受力，支撑梁（即结构梁）支撑于围檩上；在底板边缘设置500 mm厚传力带，使底板支撑于围护结构上。围檩浇筑混凝土之前，应将围檩连接处围护钻孔灌注桩迎坑侧凿毛，以便与围檩混凝土连接（如图4所示）。

(2) 梁柱节点

由于梁柱节点钢筋较密，特别是在一柱一桩格构柱部位，梁主筋较难穿越格构柱，以往逆作法施工一般采取预埋接驳器或采用在格构柱上加焊过渡钢板、均存在施工复杂，成本较高而且位置事先不容易埋设准确的缺点，近几年来通过研究和实践，设计人员提出了很多适合逆作法施工的梁柱节点设计施工方法，如劲性环梁节点、柱端牛腿劲性RC不穿心节点等。本工程从设计阶段就将施工与设计紧密的结合，在结构设计上采取宽扁梁的设计措施，钢筋遇钢立柱时，按照设计要求利用牛腿进行转换（如图5，6所示）。

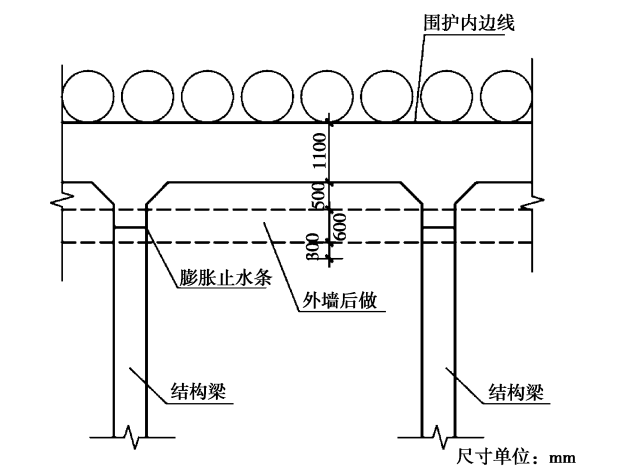


图 4 结构梁与围护桩之间的连接节点
Fig. 4 Connection of wall and structural beams

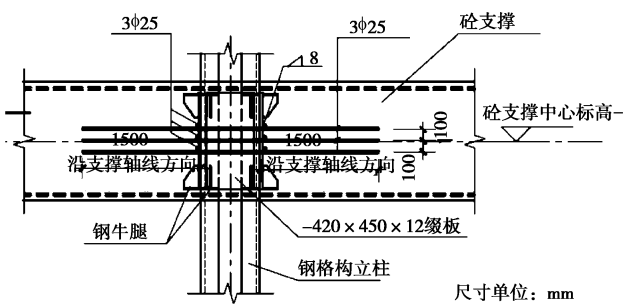


图 5 梁柱节点
Fig. 5 Nodes on column and beams

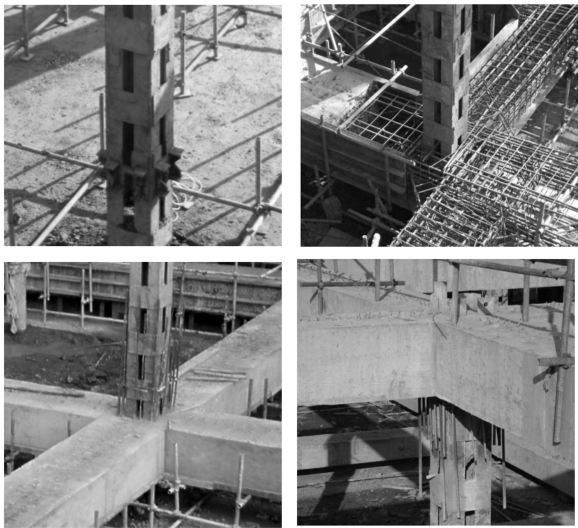


图 6 实拍梁柱节点详图

Fig. 6 Photos of nodes on column and beams

(3) 后浇带（结构梁沉降、栈桥梁板沉降）

逆作法施工一大特点就是利用楼面永久结构代替临时支撑，以节约造价。这样就造成结构提前受力，成品保护的矛盾突出。尤其是逆作法施工阶段，仅靠临时型钢格构柱承托已建部分自重和施工荷载，底板形成前柱下只有单桩参与受力，承载力有限；另外，由于土方开挖，坑底隆起带动墙柱一同向上位移，在

向下荷载和向上隆起共同作用下，使柱竖向下沉或上升，柱之间、柱墙之间差异沉降会引起结构的附加内力，严重的会导致结构开裂，对结构造成永久伤害，因此施工前必须根据施工流程进行详细的理论计算，施工过程中必须采取措施防止出现过大差异沉降。本工程中解决不均匀沉降设计思路是通过一定的构造措施加强与主体结构之间连接，从而使得与主体结构形成一个有效整体，共同升降（图7）。

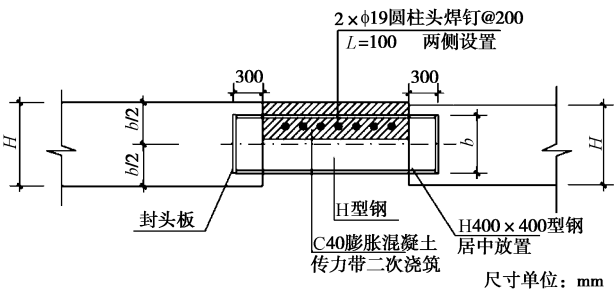


图 7 结构梁后浇带

Fig. 7 Construction joint of structural beams

(4) 梁板节点

框架梁表面在混凝土浇筑完成后，按要求形成粗

糙表面。梁内插筋按设计要求预留。在浇筑楼板时，通过结构梁预留的插筋和楼板形成整体（图8）。

(5) 换撑

由于TD4-7主楼临时支撑直接作用于围护钻孔灌注桩而不是传力于框架梁，所以在顺做地下结构时需进行换撑。每层主楼区临时支撑拆撑前，TD4-7与围护桩之间设置H400×400×13×21型钢换撑。传力带及H型钢换撑完成后，方可拆除水平支撑。图9为换撑示意图。

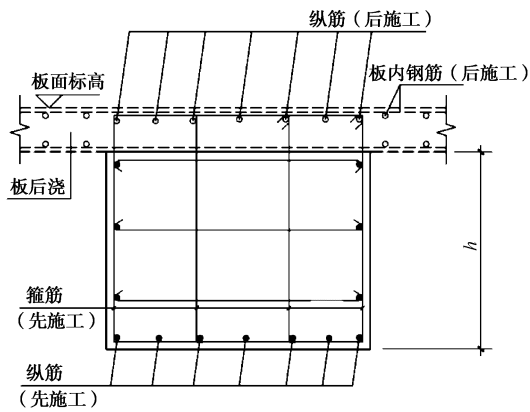


图 8 梁板节点

Fig. 8 Nodes on slab and beams

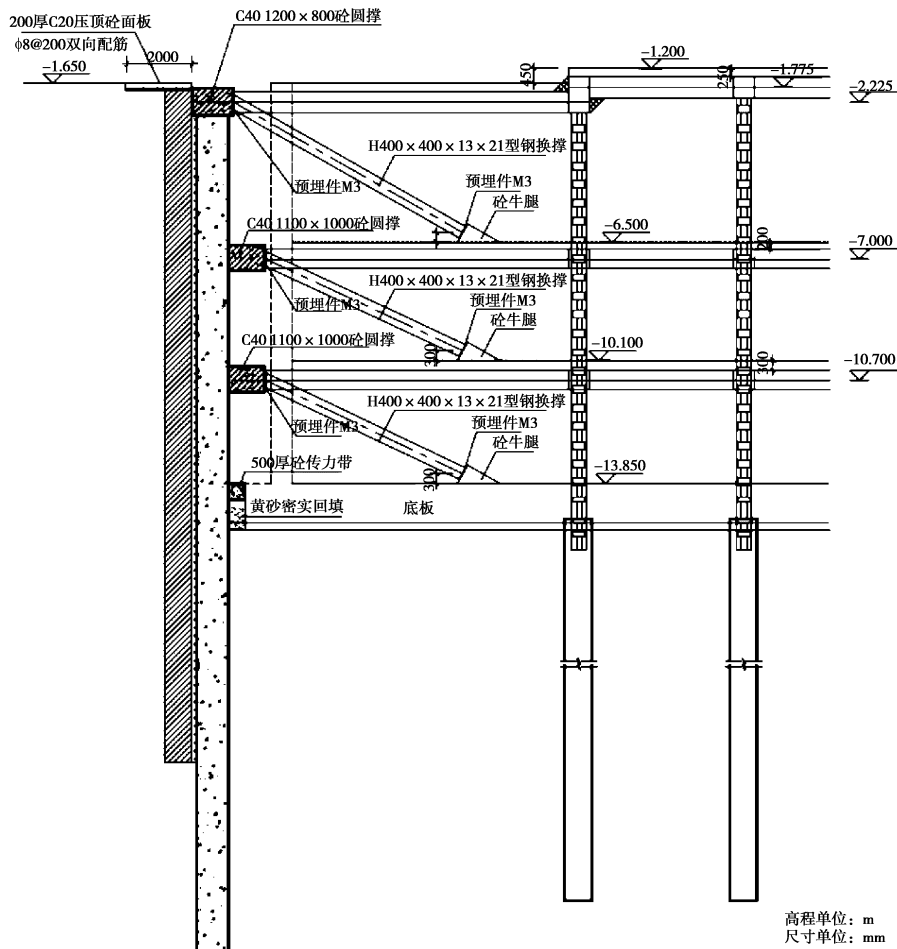


图 9 换撑示意图

Fig. 9 Substitution of bracing

(6) 永久立柱浇筑

永久立柱的格构柱内混凝土浇筑为施工难点之一。由于框架柱截面远远小于梁宽, 混凝土的浇筑必须经由格构柱内的空间, 所以采用预留混凝土浇筑孔的方法。对于首层栈桥区域的结构, 准备在永久格构柱顶端预留浇筑口。浇筑口用 $\Phi 150$ 的 PVC 管, 每个格构柱各两个, 分别位于格构柱角钢内侧 (图 10)。管子上口高出栈桥 5~10 cm, 以防止地面水经由 PVC 管流入基坑。对于第二、第三道支撑结构区域, 准备合理调整格构柱钢筋排布, 在支撑梁浇筑时, 用钢丝网封闭格构柱周边, 将格构柱内腔体全部空出, 形成混凝土施工通道。同时, 对后浇筑的顺做结构混凝土, 还应视实际情况采取添加微膨胀剂等补偿收缩措施来确保顺逆交界处的混凝土浇筑密实, 保证其力学性能^[5]。支撑平面图见图 11。

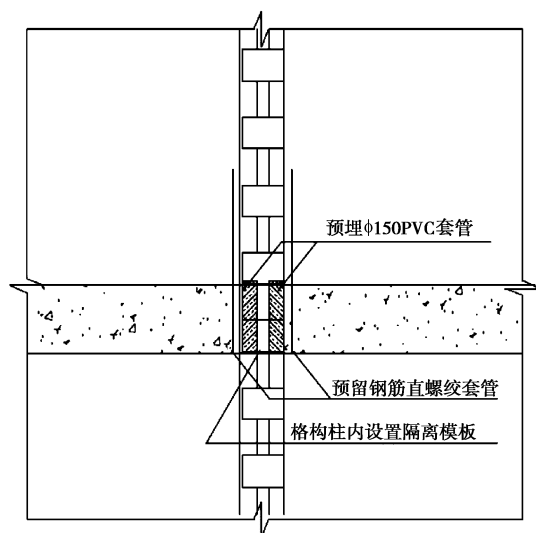


图 10 格构柱预埋件

Fig. 10 Embedment in lattice column

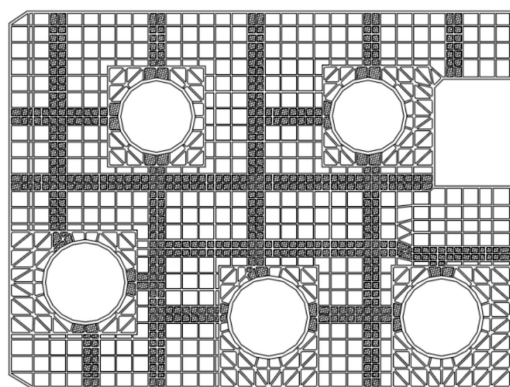


图 11 支撑平面图

Fig. 11 Plan of bracing system

3 实施效果

在面积深基坑半逆作施工过程中, 通过对土方

开挖方式采取针对性措施, 确保了基坑施工的每一工况与设计工况的一致; 同时, 在实施过程中以创新的运用多取土口、盆式开挖及对相关的施工节点采取措施, 克服了以往逆作施工的取土困难、结构施工质量不容易保证等困难。

本工程从2009年9月15日开始进行第一块土方开挖, 2010年11月26日完成最后一块逆作底板的抽条混凝土施工, 共计完成 $65.1 \times 10^4 \text{ m}^3$ 土方开挖, $13 \times 10^4 \text{ m}^3$ 混凝土浇注, 为确保按期交付业主奠定了基础。

4 结 论

(1) 本工程采用框架逆作方案, 是上海地区很有代表性的工程案例, 本工程底板施工完成后, 地表沉降控制在22 mm以内、围护结构侧移控制在41 mm以内, 与开挖深度的比值控制在0.3%以内, 为框架逆作法施工提供了成功的案例。

(2) 对于大面积逆作法深基坑, 由于土方暗挖工作量, 本工程采用框架逆作, 先施工框架梁, 后顺做楼板的方式, 可以大大提高工作效率, 避免了以往暗挖工作面的局面, 提高了开挖的安全度。通过合理布置栈桥位置, 提高了出土效率, 节约了工期。

(3) 采用盆式开挖的基坑, 由于支撑结构的排架基底均位于地下水位以下, 在荷载作用下引起地基不均匀沉降大, 对结构施工极其不利, 因此, 降水系统的有效性非常关键。

(4) 对于采用盆式开挖的全逆作基坑, 在进行板边土开挖时, 一般采用加设临时支撑的方案, 本工程采用抽条开挖方式, 可以有效控制基坑变形, 且由于取消了临时支撑, 不仅有效提高工作效率, 而且可以节约大量的临时支撑费用。

(5) 逆法施工关键是解决土方开挖的效率及结构支撑的安全问题, 而框架逆作法大大提高了土方开挖的效率, 结构支撑的安全问题也得到了有效的解决。而与之配套的梁柱节点钢筋穿设、格构柱外包混凝土、水平结构施工缝、施工平台结构加强等节点处理也应在施工前进行周密的考虑。

参考文献:

- [1] 刘国彬, 王卫东. 基坑工程手册[M]. 2版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009. (LIU Guo-bin, WANG Wei-dong. Excavation engineering manual[M]. 2nd. Beijing: China Architecture & Building Press, 2009. (in Chinese))
- [2] 叶可明, 王允恭, 李定江. 上海高层建筑多层地下室逆作法施工技术[J]. 建筑施工, 1998(5): 2-7. (YE Ke-ming, WANG Yun-gong, LI Ding-jiang. Up-side-down construction

- technology adopted for multistory basement of highrise building in shanghai[J]. Building Construction, 1998(5): 2 - 7. (in Chinese))
- [3] 石震东. 逆作法工程中主要施工节点的处理[J]. 建筑施工, 2006, **28**(7): 522 - 523. (SHI Zhen-dong. Treatment of critical construction nodes for project executed with reserved construction method[J]. Building Construction, 2006, **28**(7): 522 - 523. (in Chinese))
- [4] 王美华, 季方. 超大面积深基坑逆作法施工技术的探讨[J]. 地下空间与工程学报, 2005(4): 599 - 602. (WANG Mei-hua, JI Fang. discussion on the construction techniques of oversized excavation pit constructed by top-down method[J]. Underground Space, 2005(4): 599 - 602. (in Chinese))
- [5] 盛春陵, 李仁民, 王守超, 等. 逆作法中立柱调垂方法探讨[J]. 岩土工程学报, 2012, **34**: 595 - 597. (SHENG Chun-ling, LI Ren-min, WANG Shou-chao, et al. Vertical adjustment method for soldier piles in top-down projects[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2012, **34**: 595 - 597. (in Chinese))

(本文责编 胡海霞)