

# 逆作法施工技术在基坑支护中的应用

黄红军, 文真平, 侯 锐

(中国水利水电第十工程局有限公司, 四川 成都 611830)

**摘要:**阐述了某基坑工程采用逆作法施工的过程,该基坑周边区域采用地下连续墙围护结构(兼作落底式止水帷幕),主楼及裙楼基础采用灌注桩,其水平支撑体系采用钢筋混凝土结构楼板,主楼核心筒、电梯间、楼梯间、车道等区域设置出入口及施工孔洞,整个基坑采用深井降水的方式治理地下承压水,取得了较为理想的效果。

**关键词:**逆作法;地下连续墙;钢管桩;基坑支护

**中图分类号:** TU7; TU9; TU94; TU4

**文献标志码:** B

**文章编号:** 1001-2184(2024)01-0087-04

## Application of Top-down Construction Technology in Foundation Pit Support

HUANG Hongjun, WEN Zhenping, HOU Kun

(Sinohydro Bureau 10 Co., LTD., Chengdu Sichuan 611830)

**Abstract:** This paper introduces a foundation pit project that is constructed by top-down method. The surrounding area of the foundation pit adopts the underground diaphragm wall enclosure structure (also used as the bottom-falling water-stop curtain), the foundation of the main building and podium adopts cast-in-place piles, and the horizontal support system adopts the reinforced concrete floor. The core tube, elevator room, stairwell and driveway of the main building are provided with excavation openings and construction holes. The whole foundation pit is treated by deep well dewatering to control underground pressurized water, which has achieved relatively ideal results.

**Keywords:** Top-down method; Underground diaphragm wall; Steel pipe pile; Foundation pit support

## 1 概 述

某工程地下室与武汉市地铁 2 号线区间隧道结构平行的一侧基坑边长约 170 m,且基坑边距离地铁最近处的距离约为 12.2 m。该基坑东侧为市政道路,距离临街建筑物较近,基坑北侧为中学,基坑西侧为该工程一期项目,基坑南侧为市政主干道。基坑周边道路下埋众多地下管线,相邻道路另一侧分布高低不等、数量不一的建筑物。

依据上述工程建设的周边环境条件,无论从深基坑开挖深度数倍范围受到变形影响,还是出于对深基坑挖土卸载坑底隆起后会加大其周围地表沉降的考虑,对地铁 2 号线区间隧道、道路管线、周边建筑物的保护,确保工程周边环境的绝对安全是该基坑工程实施的首要任务。

## 2 基坑支护的设计

### 2.1 基坑工程的水文地质特点

该工程水文地质条件较复杂,且因地下室开

挖深度范围内地层岩性均为砂层且其透水性较强,导致其成为风险性较大的深基坑围护工程。该基坑地下室的开挖必须依靠减压抽水的方式方能保证基坑的稳定与施工安全,但降水将会导致原有的水土应力平衡状态受到破坏,进而引发地面沉降等人为地质灾害。

因此,如何确保基坑止水帷幕的有效性并确保降水引起的土体变形不会对邻近建筑物和地下管线等产生危害,需要认真研究并予以解决。

### 2.2 北区基坑支护的设计

(1) 基坑围护体系。北区基坑的开挖深度为 16.15~17.75 m,基坑围护墙体采用 0.80 m 厚的地下连续墙,墙深 46.60~48.60 m,旨在隔断承压水。墙底进入中风化泥岩或砂岩 2.50 m 以上,其隔水性能可靠。地下连续墙内外侧各设一道  $3\Phi 850@600$  mm 三轴水泥土搅拌桩进行槽壁的加固处理,加固深度至坑底 8.00 m 以保证地下墙的施工质量和止水帷幕的可靠性,以进一步

控制施工对周边建筑物造成的不利影响。

(2)基坑支护体系。采用三层楼板支撑体系。对B0~B2板在结构楼板的基础上予以加强并将其作为施工平台,对楼梯、电梯等孔洞位置设置取土口。其中B0板内的支撑类型采用700 mm×800 mm边梁、1 000 mm×800 mm对撑及角撑、700 mm×600 mm联系杆;B1板内的支撑类型采用800 mm×800 mm边梁、1 200 mm×800 mm对撑及角撑、700 mm×700 mm联系杆;B2板内的支撑类型采用800 mm×800 mm边梁、1 200 mm×800 mm对撑及角撑、700 mm×700 mm联系杆。

(3)土体的加固。对于靠地铁2号线一侧的被动区采用 $\Phi 800@600$  mm高压旋喷桩进行加固处理,高压旋喷桩采用P.O42.5级普通硅酸盐水泥。水泥:粉煤灰=1:0.3,水泥和粉煤灰的用量为 $550\text{ kg/m}^3$ 。水泥浆液的水灰比为0.80。

(4)坑内降水系统。在该工程基坑内共设置孔径为600 mm的降水井16口,能够满足降水要求。

### 2.3 南区基坑支护的设计

(1)基坑围护体系。南区基坑外围的开挖深度为16.05 m,基坑的围护墙体采用0.80 m厚的地下连续墙(地铁沿线先期施工的墙为1.00 m厚的地下墙),墙深48.60~51.60 m,用以隔断承压水,墙底进入中风化泥岩或砂岩2.00 m以上,隔水性能可靠。在地下连续墙内外侧各设一道 $3\Phi 850@600$  mm三轴水泥土搅拌桩进行槽壁的加固处理,加固深度至坑底8.00 m以保证地下墙的施工质量并保证止水帷幕的可靠性,以进一步控制施工对周边建筑物产生的不利影响。

该区主楼开挖深度为13.05 m,其与裙楼交界处采用 $\Phi 1\ 000@1\ 200$  mm钻孔灌注桩,钻孔桩桩长29.70 m;钻孔灌注桩靠近后开挖基坑一侧采用 $3\Phi 850@600$  mm三轴水泥土搅拌桩止水;钻孔灌注桩靠主楼侧设一排 $\Phi 800@1\ 200$  mm高压旋喷桩;靠裙楼侧设一排 $3\Phi 850@600$  mm三轴搅拌桩。

(2)基坑支护体系。

①主楼支护体:采用两道钢筋混凝土支撑,其中第一道内支撑类型为1 200 mm×900 mm顶圈梁、900 mm×800 mm主撑、700 mm×700

mm联系撑;第二道内支撑类型为1 300 mm×900 mm圈梁、1 200 mm×800 mm主撑、800 mm×800 mm联系撑。

②群楼支护体:采用三层楼板支撑体系。对B0~B2板在结构楼板基础上予以加强后作为施工平台,对楼梯、电梯等孔洞位置设置取土口。其中B0板内的支撑类型为800 mm×800 mm主撑、800 mm×800 mm边梁;B1板内的支撑类型为800 mm×800 mm主撑、800 mm×800 mm边梁、1 300 mm×800 mm围圈;B2板内的支撑类型为800 mm×800 mm主撑、800 mm×800 mm边梁、1 300 mm×800 mm围圈。

(3)坑内降水系统。共设孔径为600 mm的降水井32口,孔径为300 mm的观测井2口。其中主楼布置了6口降水井,2孔观测井;裙楼布置了26口降水井。

### 3 施工总体规划情况

首先进行地连墙内外两侧的三轴搅拌桩施工,对其上部土体进行加固,然后进行地连墙及地下室、主楼灌注桩的施工,并在地连墙施工的同时进行灌注桩施工<sup>[1]</sup>。因此,整个施工现场的布置需要考虑地连墙与灌注桩同时施工期间的场地临建、机械布置等,尽量在不影响地连墙施工的同时安排更多的旋挖设备进行灌注桩施工以满足合同工期要求。

### 4 施工工艺

该工程涉及到的施工工艺有泥浆护壁钻孔灌注桩、立柱桩、钢管桩、地下连续墙、三轴搅拌桩、高压旋喷桩、降水井、内支撑等<sup>[2]</sup>。具体的施工工艺流程为:三轴搅拌桩→高压旋喷桩→降水井→地下连续墙→立柱桩→钢管桩→灌注桩→内支撑→B0板→土方开挖。

### 5 工程的重、难点问题及解决办法

(1)工期紧、交叉作业严重、现场管理难度大。根据甲方要求,工程必须在2015年9月底完成全部基坑(包含主楼及裙楼基础处理)施工,且各阶段施工节点工期明确。为此,项目部自2014年12月中旬进场以来一直处于现场施工高峰期,各工序交叉施工造成的影响极为严重,加上现场场地有限,整个施工现场一直处于较为拥挤的状态。在施工高峰期,整个施工现场共投入280型及360型旋挖钻机12台、冲击钻机11台、三轴搅拌

桩机3台、抓斗4台、高压旋喷桩机4台、高压旋喷引孔钻机2台、250 t履带吊2台、150 t履带吊2台、50 t履带吊2台、反挖5台、装载机2台、各种型号的汽车吊7台、施工及管理人员近300人。鉴于设备及人员投入众多,进而加大了现场施工管理的难度。项目部在强化管理的同时,建立健全了各项管理及应急处置方案,强调了各工种间的相互配合,使整个项目在施工高峰期一直处于紧而不乱的状态,未发生因现场管理混乱而造成停工或窝工的情况。

(2)地下连续墙施工。地下连续墙施工是公司进入城建开发市场以来首次涉及到的,以往没有类似可供参考的经验且在这方面存在技术实力薄弱的现状,因此,施工期间,地下连续墙各工序的质量控制成为项目技术管理工作面临的难点之一。项目部在地下连续墙施工的前期,有针对性地联系并走访了武汉当地在建地下连续墙项目,进行了参观学习,将其他项目地下连续墙施工流程以照片、视频的形式记录并进行认真研究。同时,项目部在公司的大力支持与帮助下,聘请国内知名地下连续墙专家、教授亲临现场指导施工,并对项目技术管理人员进行了相关知识的培训,使项目部所有人员对地下连续墙的施工技术有了更进一步的了解,使地下连续墙的施工质量从一开始就得到了有效的控制,并为今后类似项目施工提供了可供参考的经验。

(3)地连墙接头的处理。在有效保证地连墙垂直度的同时,若不能很好地控制两墙之间接头工字钢内泥浆或混凝土的清理(地下连续墙成槽期间,由于其需要穿过砂层,该层段可能会出现槽径扩大的情况,在混凝土浇筑期间该部位会出现混凝土绕渗现象),将会极大地影响工程施工质量,导致出现接头处渗水等质量问题。

针对这一问题,经项目部多方咨询取证,在施工期间采用冲击钻机、抓斗斗具更换加长斗齿并配合方形钢刷等方法对地下连续墙工字钢内部可能存在的混凝土及泥皮进行了认真的处理,处理合格的标准以钢刷上无泥皮及冲击钻机钢绳垂直放至孔底绳锁无偏斜为准<sup>[3]</sup>。

(4)钢管桩的施工。该项目除地下连续墙施工为公司首次涉及外,钢管桩施工亦为公司首次涉足,亦成为该项目施工的重中之重。其作为主

体结构柱的一部分施工难度不亚于地下连续墙施工,特别是钢管桩施工期间垂直度的控制是该项目桩基施工的最大难点。为加强对钢管桩垂直度的控制,项目部在借鉴南国中心一期成败经验的同时,先后赴北京及天津钢管桩施工优秀的项目取经,并与监理单位和总包单位多次联合召开钢管桩施工质量控制研讨会,共同解决了钢管桩施工期间遇到的问题,使钢管桩施工一直处于受控状态。同时,项目部根据现场实际情况及钢管桩施工工艺特点,在原有钢管桩施工工艺的基础上对钢管桩调垂架、钢管桩溢浆口及钢管桩栓钉包裹等进行了优化处理,以加强对钢管桩施工过程中的质量控制,受到了相关单位的好评。

(5)地下障碍物的处理。整个项目施工作业面下3.00~5.00 m处存在原建筑物的废弃桩基础等障碍物,且其分布不明,如不及时清理将极大地影响到桩基及地下连续墙的施工。但由于该项目施工工期紧张,采用大规模开挖查实后再进行处理的办法不能满足现场施工要求。为此,项目部与业主单位一起在查明原建筑物名称之后,通过各种渠道最终在档案馆找到了部分原建筑物基础图纸手绘版,并结合该图与项目周边相似建筑物的关系情况绘制在该项目基础图上,从而较为准确地确定了项目下部废弃基础的位置;同时,结合原建筑物不同的基础形式,采用开挖破除、避让等方法进行处理;对于无法避让的桩孔,如钢管桩桩位则采用冲击钻机定点清除的方法进行处理。与此同时,做好了现场施工设备的统筹安排,避免了施工设备出现闲置窝工的情况,使该项目的最终工期得到了保证。

## 6 技术创新

(1)带式泥浆压滤机工程泥浆固液分离及废浆回收处理系统<sup>[4]</sup>具有的特点:

- ①自动化程度高。
- ②连续运行。
- ③运行费用低。
- ④脱水效果好。
- ⑤整机寿命长。

(2)逆作法钢管柱调垂固定<sup>[5]</sup>具有的特点:

- ①高效性。
- ②先进性。
- ③实用性。

### (3)二级式混凝土浮漂具有的特点:

①深孔泥浆比重推算法。深孔泥浆比重的测量一直是在工程现场很难实现的一个问题,特别是在没有反循环泥浆净化器的情况下检测深孔泥浆比重更为困难。基于此类情况,项目部技术人员提出了一种较为准确的推算方法:根据水下灌注桩施工工艺,正循环浇筑前需要泄压,而存在负压的根本原因在于冲孔的循环浆比重小于孔内的泥浆比重,导管内的浆面高于孔内浆面即为不同比重浆液在孔底实现压强相等的一种平衡状态。这里应该注意的是:循环浆是流动浆,应将其看做是密度均匀的液体;而钻孔时的泥浆则是越靠近孔底其比重越大。孔内钻孔浆的比重与孔深之间必然为二次函数关系,可以通过多次试验找出两者之间的二次关系,继而求出孔内泥浆比重的平均值。而孔口的泥浆比重可以在现场测得,以泥浆比重平均值和孔口泥浆比重为已知数据,采用微积分的方法即可求出孔底泥浆比重。

②二级式沉浸法。该新型测量工具主要由两部分组成:一级配重和二级浮球。浮球上下各有一个绳环,下绳环用于悬挂配重,上绳环用于连接测绳。

工作时,在混凝土浇筑过程中将浮漂沉浸于孔中:

第一步:进入泥浆中,所有部件在配重的作用下迅速下沉。

第二步:浮球配重进入混凝土层,此时配重因黏滞力失去大部分作用,其使命完成。

第三步:二级浮球在混凝土及泥浆浮力下不会没入混凝土中,但其随着混凝土标高的上升而上升。

据此能够准确地测得混凝土浇筑面,并且能够随着浇筑面的上升而不断上升。但是,随着浮球的上升测绳也会松弛下来,时间久了即会使松弛的测绳缠绕在导管上而使其失去测量的作用。因此,在测量过程中,浮球每上升50 cm即需由人工手动使测绳绷紧,但其较之过去固定位置式的测量已具备半自动化功能。

通过该测具的应用,更好地把控了工程质量,使测量结果以一种直观的方式呈现出来,简化了

许多验收程序,同时保证了桩基工程的质量,节约了混凝土成本。这样一种结果准确的混凝土浇筑面测量工具的诞生告别了以往经验式的判定方法,实现了测量的半自动化,并为在此基础上的进一步发展提供了巨大的空间。可以想像,其第二代产品会在第一代产品的基础上增加恒微力卷扬机,使收测绳时不再需要人力,也不必担心测绳缠绕,进而实现全自动化;第三代产品将在第二代产品的基础上增加速率分析装置,能够在混凝土浇筑过程中,根据混凝土的浇筑量及上升速率分析其孔径的变化,得出直观的桩径图形,能够准确分析出成桩质量,进而提前做出整改方案。

## 7 结语

该项目基坑工程无论是其施工工艺、施工质量和施工难度都极具挑战性。项目部在组建管理团队和前期策划阶段公司即高度重视,组建了一支优秀的管理团队。项目前期,为保证项目的施工安全、质量及进度,公司和项目部在技术、质量、文明施工等方面进行了大量的考察研究,制定了科学合理的施工方案并采用了一些先进技术,经项目部全体人员的共同努力,在公司强有力的帮助、指导下,较为圆满地完成了该项目的施工任务。该工程所采用的逆作法施工技术非常成功,亦为今后的项目应用积累了经验。

### 参考文献:

- [1] 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,2005,25(4):4-8.
- [2] 王新安.高层建筑中土建筑施工技术的运用问题及对策简析[J].科技与企业,2014,23(22):108-111.
- [3] 龚耀槐.浅析地下连续墙施工质量控制[J].科学之友,2011,21(24):56-57.
- [4] 杨桦,吕平,李俊.压滤机在基础工程泥浆净化处理中的研究与应用[J].四川建筑,2018,38(6):244-245,248.
- [5] 姚卫林,赵志武.高层建筑逆作法中的钢管柱施工关键技术[J].工程技术:文摘版,2016,3(10):30-33.

### 作者简介:

黄红军(1989-),男,重庆梁平人,项目施工部部长,工程师,从事建筑工程基础施工技术与管理工

文真平(1995-),男,湖北建始人,项目施工部部长,助理工程师,从事建筑工程基础施工技术与管理工

侯 锟(1987-),男,河南南阳人,项目技术部部长,副高级工程师,从事建筑工程基础施工技术与管理工

(编辑:李燕辉)