

超深超大深基坑逆作法施工关键技术

钟 明, 曾纪文, 贺 浩

(武汉地质勘察基础工程有限公司, 湖北 武汉 430000)

摘要: 武汉南国中心一期基坑支护工程采用逆作法施工, 周边环境复杂, 场区内砂层较厚, 基坑设计技术要求高, 特别是支护结构地下连续墙、立柱桩垂直度要求高、嵌岩深, 施工时在软硬互层部位容易产生偏斜, 入岩效率低。针对工程施工重难点, 从设备选型、工艺选择、钻头选用等方面采取措施, 解决逆作法超深超大基坑支护结构施工中的困难问题, 介绍了解决问题的思路, 取得了显著的效果, 施工质量满足相关技术要求。

关键词: 超深基坑; 逆作法; 旋挖钻机; 液压抓斗; 地下连续墙; 钢管柱桩

中图分类号: TU473.2 **文献标识码:** B **文章编号:** 1672-7428(2020)06-0073-06

Key technology of the top-down construction method for oversize deep foundation pit

ZHONG Ming, ZENG Jiwen, HE Hao

(Wuhan Geological Survey Foundation Engineering Co., Ltd., Wuhan Hubei 430000, China)

Abstract: The foundation pit support works for the Wuhan Nanguo Center first-phase project was constructed using the top-down construction method, where the surrounding environment was complex, and the sand layer at the site is thick. The technical requirements for foundation pit design were high, in particular, the verticality of the diaphragm wall and column pile of the support structure was high with deep rock embedment. The soft and hard alternate formation tended to produce deviation during construction with low rock penetration efficiency. In view of the major and difficult points in construction, measures were taken from the aspects of equipment selection, process selection, bit selection, etc. to solve the difficulties in the construction of the super-deep and large foundation pit support structure by the top-down method. The approach to solving the problems was introduced, and significant results were achieved with the quality meeting the relevant technical requirements.

Key words: ultra deep foundation pit; top-down construction method; rotary drilling rig; hydraulic grab; diaphragm wall; steel pipe column pile

0 引言

地下工程逆作法利用地下结构楼板、梁、支撑柱相互结合对基坑坑壁形成支撑体系, 来保证坑内土方的开挖, 同时完成了地下结构的自身施工^[1], 逆作法施工工艺示意图(以 2 层地下室为例)见图 1^[2]。随着我国高层建筑的发展与地铁工程的大规模建设, 逆作法因具有缩短施工总工期、基坑变形小、节约工程造价等特点, 逐渐在全国推广应用开来, 但逆作法是先沿建筑物地库周围施工地下连续墙或其它支护结构, 同时在基坑内施工中间支撑桩

柱, 地下连续墙、支撑桩柱作为施工期间在底板封底之前承受上部结构自重和施工荷载的支撑, 对其施工精度要求比较高, 需要较高的施工质量控制, 而往往地下工程设计为逆作法的工程, 周边环境较复杂, 存在施工难点。

本文以武汉南国中心一期项目 4 层地下室基坑工程为例, 根据现场地质条件、周边环境等实际情况, 对解决超深超大基坑支护结构施工难题进行分析总结, 为今后类似工程施工积累了一定的经验。

收稿日期: 2019-07-27; **修回日期:** 2020-05-12 **DOI:** 10.12143/j.tkgc.2020.06.013

作者简介: 钟明, 男, 汉族, 1971 年生, 正高级工程师, 长期从事地基与基础施工及项目管理工作, 湖北省武汉市汉阳区江城大道 288 号麦普利斯广场 B 座, 499219095@qq.com。

引用格式: 钟明, 曾纪文, 贺浩. 超深超大深基坑逆作法施工关键技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2020, 47(6): 73-78.

ZHONG Ming, ZENG Jiwen, HE Hao. Key technology of the top-down construction method for oversize deep foundation pit[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020, 47(6): 73-78.

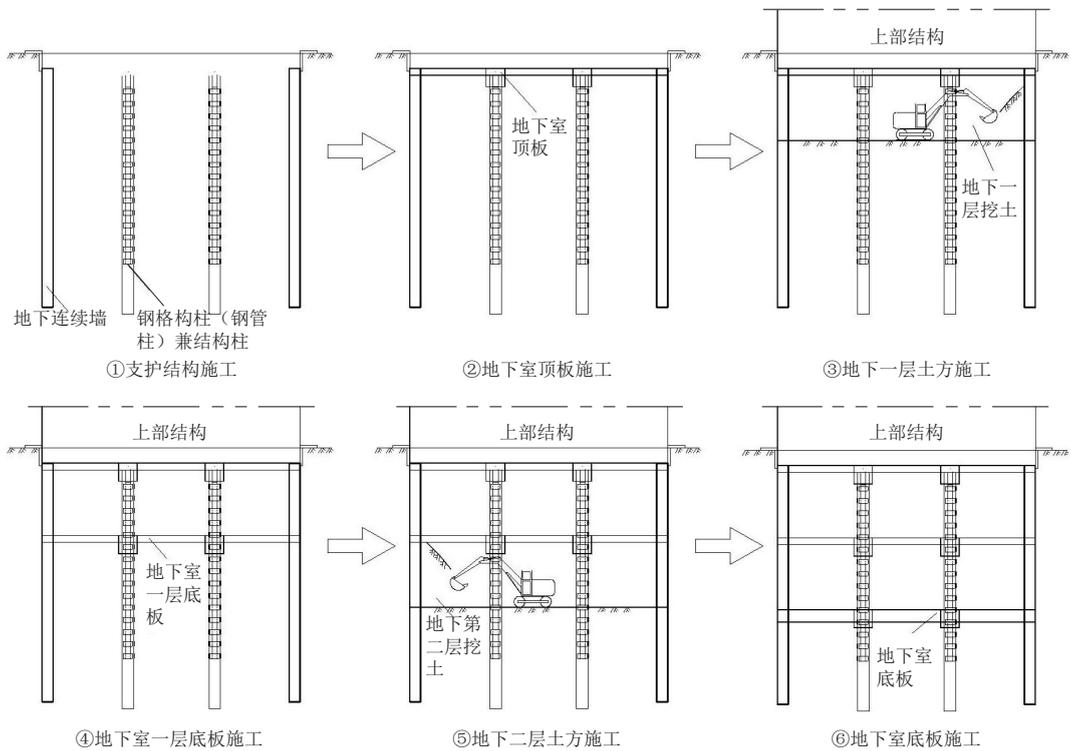


图1 逆作法施工工艺(以2层地下室为例)

Fig.1 Top-down construction method (take the two-story basement as an example)

1 工程概况

武汉南国中心一期项目设置4层地下室,采用逆作法施工,基坑平面大致呈规则矩形,基坑周长约410.5 m,面积约10240 m²,塔楼区开挖深度约21.7 m,裙房区开挖深度为19.7~20.2 m。

基坑周围护采用1000、1200 mm厚“两墙合一”地下连续墙,墙深约50 m,地连墙各单元槽段间接缝的连接型式采用圆形锁口管,内侧设扶壁柱;地连墙内外侧采用3 ϕ 850 mm@600 mm三轴搅拌桩进行槽壁加固;钢管立柱采用“单桩单柱”即钻孔灌注桩加钢管柱结构,采用 ϕ 610 mm \times 20 mm、 ϕ 508 mm \times 10 mm钢管柱;临时格构立柱为钻孔灌注桩加钢格构柱,临时钢格构断面为500 mm \times 500 mm,型钢采用4 \angle 200 \times 20角钢(材料Q345B),缀板4 \times 460 \times 300 \times 12@800。

2 周边环境条件

拟建建筑地处闹市中心,场区用地已用围墙(沿用地红线)圈定,周边环境情况如下:

(1)东侧为道路,地下室外墙边线距用地红线最近距离3.2 m,距道路边线最近距离5.0 m。

(2)南侧为解放大道,地下室外墙边线距用地红线最近距离3.0 m,距道路边线最近距离5.0 m。

(3)西侧为精武路,地下室外墙边线距道路边线(用地红线)最近距离4.8 m。

(4)北侧为住宅小区,靠近基坑边为6~8层建筑物,地下室外墙边线距原有建筑物距离为3.4~5.3 m。

3 工程地质水文地质条件

场地土层为第四系全新统长江冲洪积层,各土层分布埋藏情况及特征自上而下分述如下:①杂填土 Q^{ml} 、②粘土 Q_4^{al+pl} 、②_a粘土 Q_4^{al+pl} 、③粉砂夹粉土 Q_4^{al+pl} 、④粉细砂 Q_4^{al+pl} 、⑤₁细砂 Q_4^{al+pl} 、⑤₂细砂 Q_4^{al+pl} 、⑥粉质粘土 Q_4^{al+pl} 、⑦砂夹卵砾石 Q_4^{al+pl} 、⑧₁泥岩强风化S、⑧₂泥岩中风化S。

场地地下水主要为上层滞水和承压水。上层滞水赋存于第①层杂填土中,主要由地表水源、大气降水和生活用水补给,无统一自由水面。承压水主要赋存于下部砂类土层中,与长江有一定的水力联系,水量丰富。二者之间通过不透水层(粘土)及弱透水层(粉砂夹粉土)阻隔。

4 基坑设计技术要求

4.1 地下连续墙

(1)槽段挖成后,在钢筋笼入槽前,必须对槽底泥浆和沉淀物进行置换和清淤,沉淀淤积物厚度 ≥ 100 mm。

(2)墙的垂直度允许偏差应控制在 $1/400$ 以内,接头垂直度允许偏差应控制在 $1/500$ 以内,槽段间轴线偏差应控制在 ± 10 mm内。

(3)槽壁长度(沿轴线方向)误差(指邻近两锁口管中心距) $\leq \pm 20$ mm。

(4)地下连续墙设计深度采用双控原则,墙深 ≥ 50 m,且入中风化泥岩不小于 1 m,槽壁深度欠深误差 ≤ -50 mm。

(5)开挖后地连墙应平整,在原状土层内墙面局部凹凸值 ≥ 50 mm。

4.2 立柱及立柱桩

(1)立柱插入钻孔灌注桩内不小于 3.0 m,立柱在底板范围内应设置止水片。

(2)立柱中心与钢筋笼中心应在同一轴线上。

(3)立柱垂直度偏差 $\geq 1/400$,平面定位精度 ± 5 mm。

5 施工重点及难点

5.1 基坑周边环境复杂

根据实测各构筑物平面位置关系,居民楼距地连墙外边线最近距离仅为 3.4 m,基坑周边环境较复杂,环境保护要求高。

5.2 地下连续墙槽壁施工精度要求高

成槽质量受到几个条件控制:一是场区砂层最厚达 26 m,地下连续墙成槽时在软硬互层部位容易产生偏斜^[3];二是在施工二期槽时,由于一期槽接缝部位存在夹泥或泥皮,在后期开挖中形成渗流通道,引起基坑漏水,达不到抗渗和抗弯要求。

5.3 地下连续墙嵌岩施工难度大

地下连续墙设计要求嵌入中风化泥岩不小于 1.0 m,根据勘察资料显示该层上部岩心较为破碎,下部岩心较为完整,取出岩心呈短柱状,节理裂隙较发育。取心率 $50\% \sim 80\%$,较完整,岩体基本质量分级划为V级。虽然液压抓斗的抱合力远大于强风化砂砾岩的强度,但由于抓斗插入强风化岩层有一定难度(抓斗插入岩层主要靠抓斗自身重力),导致成槽效率低,且本项目局部中风化岩层起伏较大,部

分槽段入中风化泥岩深度达到 3 m以上,进一步加大成槽难度。

5.4 钢管柱桩嵌岩深,岩层钻进难度大

钢管柱桩设计要求嵌入中风化泥岩不小于 3 m,中风化泥岩单轴抗压强度为 7.2 MPa,承载力特征值为 1100 kPa,上部土层为强风化泥岩,承载力特征值为 450 kPa。

5.5 钢管柱垂直度要求高

设计要求施工中设置钢立柱时,施工单位应采取必要的技术措施保证钢立柱(格构柱)各边与对应支撑主轴线严格垂直或平行。

6 施工关键技术

6.1 地下连续墙施工

6.1.1 地下连续墙成槽

成槽施工是地下连续墙投入设备最多、耗时最长的关键工序。主要有旋挖钻进、冲击钻冲击、液压抓斗成槽及铣槽机成槽等方法^[4]。旋挖钻进和冲击钻冲击工效较低,机械振动较大不利于泥浆护壁,但对于坚硬的岩石层两者效率明显;液压抓斗成槽效率高、墙体的垂直度高,但对硬度较高的岩层效率低,且在硬岩中无法保证垂直度;铣槽机造价较高,国内目前没有广泛使用^[5-6]。

根据本项目地质条件和设计参数,采用旋挖钻机与液压抓斗组合施工,充分发挥两种机械的优势。旋挖钻机的钻岩能力较强,可钻进不同地层,先从地面钻引孔至设计墙底标高,地面引孔分部数量为“两钻一抓”。引孔的导向作用能有效地防止抓斗遇软硬不一地层时造孔发生偏斜,提高成槽垂直度及平整度,同时大幅提高抓斗成槽的效率。遇到入中风化岩层较深的槽段(局部 3 m以上)时,成槽至中风化岩层后,每抓内增加 1 个引孔,更换旋挖钻机对中风化岩层进行钻孔以进一步破碎岩层,进一步提高入岩段抓斗成槽效率。

其施工流程见图2。

根据公司以往类似工程施工数据,对单幅槽段纯抓斗成槽与本工程旋挖抓斗组合成槽效率进行了对比分析,见表1。

由表1可知,采用钻挖抓斗组合成槽比纯抓斗成槽,单幅槽段可节约成槽时间约 4 h,工效提高约 18% ,减少了槽壁成槽后暴露时间,防止槽壁坍塌和缩径,提高了成槽质量。

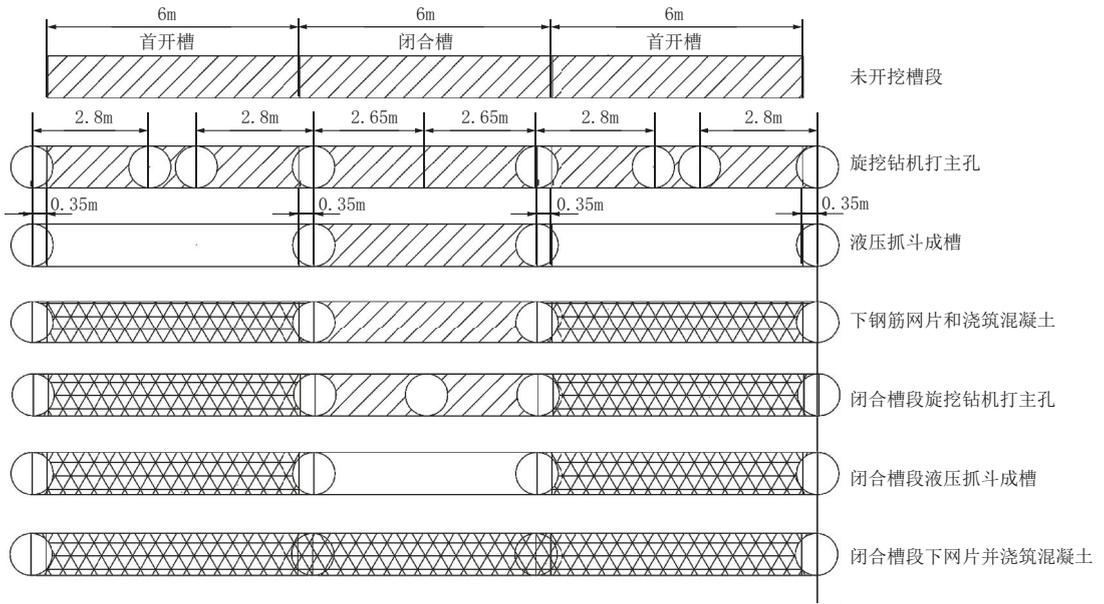


图2 地下连续墙钻抓法施工工艺流程

Fig. 2 Construction process flow of diaphragm wall drilling and grabbing method

表1 单幅槽段纯抓斗成槽与旋挖抓斗组合成槽效率对比

Table 1 Efficiency comparison between the mere grab and the rotary drilling rig combined with the grab for construction of one panel trench

成槽方式	槽段数量/幅	槽段深度/m	抓斗成槽施工用时/h			总计用时
			0~20 m (杂填土、粘土)	20~40 m (细砂、粉质粘土)	40~48 m (砂夹卵石、强风化泥岩)	
纯抓斗成槽	100	48	4	10	8	22
旋挖抓斗组	100	48	3.5	8.5	6	18
合成槽施工						
旋挖抓斗组合成槽比			0.5	1.5	2	4
纯抓斗成槽节约时间						

6.1.2 地下连续墙接头处理

地下连续墙一、二期槽接缝处是整个地下连续墙施工成败的关键环节,在施工二期槽时,时常由于一期槽接缝部位存在夹泥或泥皮,在后期开挖中形成渗流通道,引起基坑漏水,达不到抗渗和抗弯要求^[7]。采用我公司研发的新型地下连续墙接头刷壁装置^[8],可用于清除地下连续墙接缝部位的夹泥或泥皮,制作简单、通用性好、移位操作方便,上下移动箱体即可清洁槽接缝处的夹泥和泥皮,清除泥皮十分彻底,并且其在槽接缝部位的垂直度存在偏差的施工环境下,钢丝刷仍能很好地清除槽接缝部位的夹泥和泥皮,有效减少了渗流路径的形成。

6.2 钢管柱桩嵌岩施工

针对钢管柱桩嵌入岩层深,岩层钻进难度大,

普通的钻具虽可实现进尺,但消耗时间长、不经济,而仅仅使用特殊钻具,如短螺旋钻头,又存在成孔形状无法满足灌注的要求。本工程参照我公司编制的省级工法《嵌岩旋挖桩钻进施工工法》(HB-GF125-2010)的要求,采用多钻头组合钻进和分级碎岩方法成功解决了深嵌岩钻进难题^[9]。

多钻头组合,就是先用带截齿的筒式钻头以较低钻压和较高转速对岩层做环状围切,类似于岩心钻,将岩心与地层割开,每回次钻进 300 mm;然后换螺旋钻头以较高钻压和较低转速将岩心崩裂破碎;再换用普通捞砂斗将未被螺旋钻头带上的岩屑取出,以清除孔壁、孔底。

分级破碎岩石,通过对钻头钻齿数量、形式、布局等的改变而达到增加载荷的作用。

(1)减齿增压:减少嵌岩钻头上的原冲齿齿数,利用旋挖钻机的强扭矩和高压力,相应增加每个冲齿上的压力,并得到加大的扭转力,其破岩面积同比减少,这样冲齿每回次入岩深度增加,从而提高了钻进效率。

(2)改变短螺旋钻头钻尖斗齿布置形式,使螺旋斗齿成一字型,以提高钻齿入岩能力,避免空齿现象,见图 3。

(3)改变钻头斗齿形式,将钻头斗齿更换为冲齿,破碎岩石时属于典型的球式压入,由于可以自由转动,在钻头旋转过程中,各截齿可以快速旋转至钻

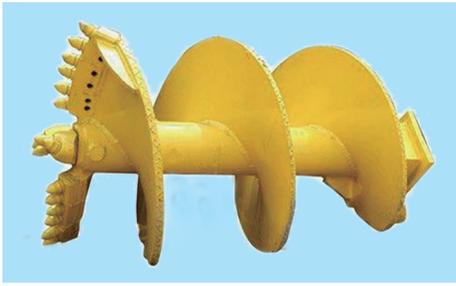


图 3 短螺旋“一字”钻头
Fig.3 Short flight auger bit

压调整至轴向的状态,较大的荷载使岩石的破坏很快发展到体积破碎阶段,并在齿周围一定范围内的岩石中压出裂隙,同时由于截齿镶嵌保留了一定的倾角,在旋转时可将前段的一部分岩石崩离岩体。

选取具有代表性的钢管柱桩在中风化粉质泥岩的施工情况见表 2。

表 2 代表性桩在中风化粉质泥岩中的钻进情况
Table 2 Drilling of the representative piles in medium-weathered silty mudstone

桩径/mm	时间/h	深度/m	效率/($\text{m} \cdot \text{h}^{-1}$)
1000	4.5	2.1	0.46
1000	6.0	2.5	0.42
1000	5.0	2.2	0.44
1000	6.5	2.5	0.38
平均效率			0.425

本工程钢管柱桩嵌岩施工采用该工艺,明显提高了工作效率,经济效益显著,技术先进,且对环境污染小,是绿色环保型工法。

6.3 钢管柱施工

钢管柱为永久结构,设计垂直度要求较高,施工难度大。因钢管柱顶部位于地面以下,要实施调垂就必须有导向节,早期导向节使用法兰盘、螺杆在地面上连接成一体后起吊(见图 4),但该方法很难保证连接的垂直度,此外在吊起过程中可能会因钢管自重等原因造成部分螺杆松动或变形,而导致钢管柱在调垂前就发生了变形,因而就很难保证钢管柱的垂直度。为解决这一隐患,通过摸索和探讨,本工程将导向节与钢管柱加工成一体,现场使用完后,再进行割除返回厂家进行专业驳接(见图 5)。

钢管柱垂直度一般在钢管柱下置过程中凭借其自重来控制,或利用简单的人工调节装置,但本项目钢管柱直径大、长度长,难以达到设计垂直度要求,后期补救施工处理工期长、费用高。本项目采用一种新型调垂装置^[10-11](见图 6),在钢管柱起吊安



图 4 螺杆连接的导向节
Fig.4 Guide joint connected by a screw

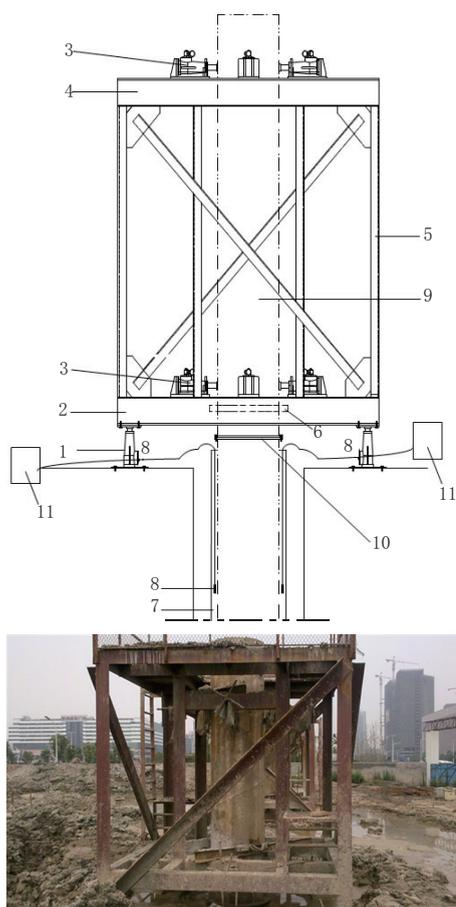


图 5 割除的导向节
Fig.5 Cut out guide joint

装前在孔口安装好调垂架,并检验其水平度及稳固度,接着将钢筋笼、钢管柱分别经过调垂架吊放入孔,当钢管柱达到设计标高后通过调垂架上端四方螺栓固定钢管柱的顶部,同时将钢管中心与桩中心调整一致,最后通过拧动调垂架下端螺栓来调动钢管,通过双向全站仪观测,当达到两个方向垂直后拧紧螺栓将整个钢管柱固定,完成调垂操作。经检测验证,使用该调垂架调垂,其最小垂直度可以达到 1/600,满足设计要求。

7 结语

(1)本项目逆作法中地下连续墙的施工成功运用了“旋挖+抓斗”组合的“两钻一抓”和“多钻一抓”施工工法,有效提高了抓斗嵌岩能力和成槽施工效率,验收合格率达到 100%,抗渗性能优越,满足合同工期要求,与公司以往类似工程采用纯抓头成槽施工比较,组合成槽节约成本 5% 以上。



1—垂直调整机构;2—基座;3—水平调整机构;4—平台;
5—支架;6—电子水平;7—测斜管;8—测斜传感器;9—辅助调节钢管;10—法兰;11—测斜仪

图6 钢管柱调垂架

Fig.6 Pipe column hanging frame

(2)钢管立柱、钢格构立柱施工是逆作法基础工程施工的关键,本工程解决了钢管柱桩嵌岩深,岩层钻进难度大以及钢管柱定位精确度要求高的难题,实现了公司技术成果实用新型专利和省级施工工法的转化应用,产生了显著效益。

(3)根据基坑监测结果,在基坑运行阶段,邻近建筑物竖向沉降及水平位移变形较小,建筑物及周边土体整体安全;围护结构以及支撑体系整体稳定,基坑变形满足设计规范要求。地下室施工期间未发生任何变形过大或垮塌现场,未对周边环境造成任何不利影响。

该项目在基坑施工成本控制、施工工期及保护周边环境等方面取得了显著的经济效益和社会效益,积累了较好的实践经验,可对武汉地区类似工程的施工提供参考借鉴。

参考文献(References):

- [1] 刘建航,侯学渊.基坑工程手册[M].北京:中国建筑工业出版社,1997.
LIU Jianhang, HOU Xueyuan. Excavation engineering handbook [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 1997.
- [2] 冯昆荣,曹少伟.逆作法施工的技术特点及要求[J].重庆建筑,2008(10):26-28.
FENG Kunrong, CAO Shaowei. Technical characteristics and requirements of reverse construction method [J]. Chongqing Architecture, 2008(10): 26-28.
- [3] 王平,焦玉俊.超厚砂层超深地下连续墙成槽综合技术[J].土工基础,2009,23(6):18-20,29.
WANG Ping, JIAO Yujun. Comprehensive trenching technology of extra deep diaphragm wall in extra-thick sand layer [J]. Soil Engineering and Foundation, 2009,23(6):18-20,29.
- [4] DB 42/T 914-2013.湖北省地下连续墙施工技术规范[S].
DB 42/T 914-2013. Construction technical specification for diaphragm wall [S].
- [5] 易智宏,李小刚.地下连续墙施工技术难点探讨[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2004,31(4):10-12.
YI Zhihong, LI Xiaogang. Discussion on difficult in diaphragm wall construction [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2004,31(4):10-12.
- [6] 易智宏,赵建平,汪应朝,等.深异形地下连续墙施工技术研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(11):44-50.
YI Zhihong, ZHAO Jianping, WANG Yingchao, et al. Study on construction technique of hadal depth & abnormal shape underground diaphragm wall [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2012,39(11):44-50.
- [7] 马勤,王芳.超深地下连续墙施工中几个问题的探讨[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(11):68-71.
MA Qin, WANG Fang. Discussion of several problems in ultra-deep underground continuous wall construction [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2013,40(11):68-71.
- [8] 戴小岳,易万元.地下连续墙新型接头装置:201320339694.2 [P]. 2013-12-11.
DAI Xiaoyue, YI Wanyuan. New joint device for diaphragm wall; 20339694.2 [P]. 2013-12-11.
- [9] DB 42/T 831-2012.钻孔灌注桩施工技术规范[S].
DB 42/T 831-2012. Construction technical regulation of bored cast-in-place pile [S].
- [10] 曾维楚,钟明,徐勇,等.钢管柱逆作法施工实践[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(4):56-59.
ZENG Weichu, ZHONG Ming, XU Yong, et al. Construction practice of inversion construction method for steel pipe column [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2012,39(4):56-59.
- [11] 钟明.逆作法钢管柱自动调垂装置:201120408187.0 [P]. 2012-07-04.
ZHONG Ming. Automatic vertical adjustment device for steel tube column of top-down construction method; 20339694.2 [P]. 2012-07-04.