

“桩墙合一”技术在深基坑工程中的应用

汪军, 李大华, 张自光

(安徽建筑大学 土木工程学院, 安徽 合肥 230601)

摘要:“桩墙合一”结构体系在工程实际中已经有了少量的应用。为了验证新技术在实际工程中的合理性与安全性,基于合肥市某雨水调蓄池深基坑工程对“桩墙合一”技术的结构设计方法、施工方法进行阐述,对施工全过程进行阶段性监测并分析实际监测结果,取得了良好的效果,证明了该技术在工程实际中是适用的、成熟的。同时可以为“桩墙合一”技术在以后实际工程中的应用提供借鉴依据。

关键词: 基坑支护; 围护桩; 桩墙合一; 数据监测

中图分类号: TU94.2

文献标识码: A

文章编号: 2095-8382 (2021) 01-026-07

Practice of Dual-purpose Pile Wall Technique in Deep Foundation Engineering

WANG Jun, LI Dahua, ZHANG Ziguang

(College of Civil Engineering, Anhui Jianzhu University, Hefei 230601, China)

Abstract:The dual-purpose pile wall structural system has a small number of applications in engineering practice.In order to verify the rationality and safety of the new technology in the actual project, based on the deep foundation pit project of a rainwater storage tank in Hefei, the structural design method and construction method of the dual-purpose pile wall technology are explained, and the whole construction process is carried out.Phased monitoring and analysis of actual monitoring results have achieved good results, proving that the technology is applicable and mature in actual engineering.At the same time, it can provide a reference for the application of the dual-purpose pile wall technology in future practical projects.

Keywords:foundation pit support; retaining pile; dual-purpose pile wall ; data monitoring

国内对于围护桩与主体结构外墙相结合的设计与施工方法最早由刘引兰提出于 1998 年,得出两者共同受力,大大减少工程费用的良好效果。2001 年到 2012 年期间,左人宇、耿建勋、王卫东等人陆续通过有限元软件三维模拟的方法,结合具体工程案例,得出“桩墙合一”技术中围护桩承受大部分的荷载,极大减小了墙体厚度和经济成本,验证了该技术的合理性^[1-2]。西方发达国家提出基坑支护桩与主体结构相结合的概念要提前 65 年,并在日本东京都本社大厦工程中率先得到应用。之后,“桩墙合一”地下空间设计方法被越来越多的国家和地区采用,例

如英国伦敦的 Bell Connon、韩国首尔的 Seoul-1、新加坡海事博物馆、台北 101 大厦裙楼等,取得了良好的经济效益。

但国内对于该研究还处于起步阶段,各地区对于围护桩、主体结构的受力机理与计算方法不尽相同,尚缺乏一套系统完整的理论计算方法,国外学者目前较少对该结构设计进行深入研究^[3]。本文对于“桩墙合一”结构设计方法在合肥地区的实际工程应用的论述,一是丰富了国内以及合肥地区对于该项新型支护设计形式的应用研究,二是高精度还原实际情况,以实际当中的准确全过程监测,研究桩、墙

收稿日期: 2020-09-21

基金项目: 安徽建筑大学引进人才及博士启动基金项目(2019QDZ24); 安徽四建科技开发项目(HYB20190126)

作者简介: 汪军(1997-),男,硕士研究生,研究方向为工程结构的现代施工技术。

“二合一”之后位移变形以及对周边环境安全性的影响。希望可以为“桩墙合一”结构设计在以后工程实际中的广泛应用做出努力。

目前,传统的深基坑支护应用形式是采用围护桩+内支撑,在主体结构由基坑底部向上施工的过程中,逐步拆除水平支撑和格构柱,围护桩也不再承担土体的水平应力,主体结构完成后,围护桩将被丢弃在土层中。这样传统的支护形式与支护设计造成了很大的资源浪费,也对环境造成污染,建设成本将会增加。而深基坑“桩墙合一”结构形式作为目前较为先进的施工方法,在工程建设中已有应用,大大减少了环境污染、资源浪费以及建造成本^[4-5]。它是将围护桩作为永久结构来进行结构设计,在施工主体结构完成以后仍然作为受力构件,将围护桩与地下室外墙通过传力板带连接起来,传力板带一般布置在主体结构每一层的楼板的位置,结构上缩小地下室外墙的厚度,减小围护桩与墙体间的距离,使得围护桩与墙体紧贴,应用在实际工程中将会产生巨大的社会效益^[6-7]。

本文基于合肥市某雨水调蓄池深基坑工程,详细阐明了“桩墙合一”技术的设计细节以及施工方法,利用该工程实际监测数据进行分析^[8],论证“桩墙合一”结构设计的合理性,同时证明了“桩墙合一”这一新技术在实际工程应用的可操作性。

1 工程背景

1.1 工程概况

合肥市某新建雨水调蓄工程,东、西、北面均毗邻河道,南面靠近公路,总新建容积约为 40 000 m³ 的调蓄池、排涝泵站和面积约为 26 480 m² 的景观绿化,以及防洪墙约 107 m。周边环境如图 1。

其中涉及到的基坑开挖有雨水调蓄池 1 座、排涝泵站 1 座。此雨水调蓄工程基坑为异形基坑,主体矩形基坑与西南侧放空泵房基坑同步施工,主体基坑平面尺寸为 88.2 m×58.34 m,开挖深度为 18.4~19.7 m,安全等级为一级;西南侧放空泵房基坑凸出 12.1 m×33.9 m,开挖深度 19.7~21.2 m,安全等级为二级。



图 1 雨水调蓄池环境总平面图

1.2 工程地质条件

根据地质勘探报告,异形基坑的主要土质有:①素填土,松散~稍密,层厚 1.40~4.30 m;②粘土,硬塑~坚硬状态,层厚 1.00~4.20 m;③粉质粘土,可塑状态,局部坚硬,0.8~5.2 m;④粉质粘土夹粉土,软塑状态,层厚 1.30~7.30 m;⑤细砂夹粉土,稍密~中密状态,层厚 0.50~7.90 m;⑥强风化砂岩,密实状态,厚度为 0.50~1.90 m,⑦中风化砂岩,铁钙质胶结状态,胶结一般,厚度为 1.60~26.80 m。各土层参数见表 1。工程场地稳定性较稳定,岩土工程条件较好,不良地质作用不发育,且场地为不液化场地,无软土震陷现象。

表 1 地基土物理力学性质指标

土层编号	岩土名称	天然重度 (kn/m ³)	黏聚力 C(kPa)	内摩擦角 $\varphi(^{\circ})$	地基承载力特征值 f_{ak}	静止侧压力系数 k_0	渗透系数 K(cm/s)
①	素填土	18.50	10.0	6.0	—	0.60	1.0x10 ⁻⁴ cm/s
②	粘土	19.51	63.9	13.9	240	0.40	2.5x10 ⁻⁵ cm/s
③	粉质粘土	18.91	29.5	11.7	160	0.45	2.5x10 ⁻⁵ cm/s
④	粉质粘土夹粉土	18.57	20.5	11.8	100	0.60	5.0x10 ⁻⁵ cm/s
⑤	细砂夹粉土	19.07	5.0	20.0	150	0.50	5.0x10 ⁻³ cm/s
⑥	强风化砂岩	20.00	10.0	30.0	350	0.45	1.0x10 ⁻³ cm/s
⑦	中风化砂岩	25.30	80.0	25.0	2000	0.47	1.0x10 ⁻⁵ cm/s

情况下,围护结构可能会有较大的横向侧移,导致结构破坏,安全性与可靠度受到威胁。因此设计传力板带放置在地下结构每一层的楼板处,刚性的传力结构大大提高了结构稳定性,地下室底板实际上与传力板带起到相同的作用,两者共同连接围护桩与地下室的外墙。传力板带的详细配筋以及设置位置如图 5 所示。

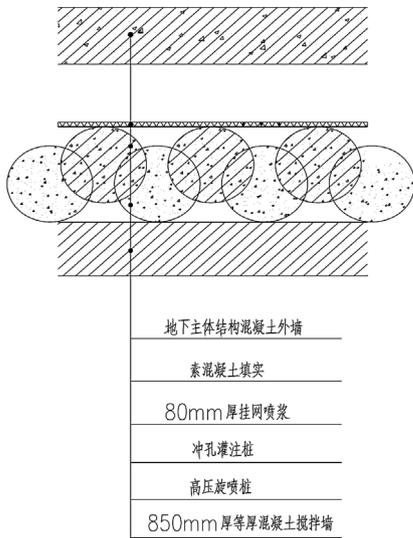


图 3 “桩墙合一”节点示意图

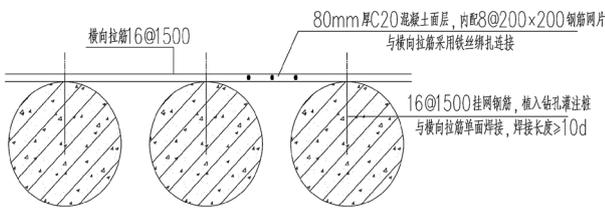


图 4 挂网喷浆节点示意图

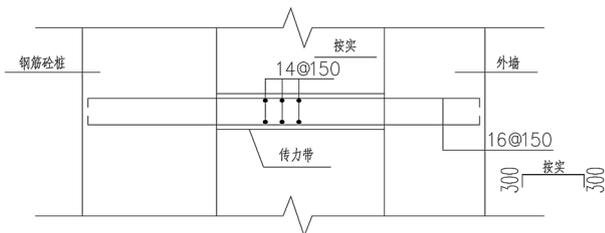


图 5 楼板处传力板带配筋示意图

3 施工工艺

这一设计方法主要涉及围护结构施工:围护桩 + 高压旋喷桩 + 止水帷幕,地下室外墙施工以及传

力板带连接结构施工,现阐述该工程“桩墙合一”设计的主要的施工技术。

3.1 围护桩施工

该工程项目场地地质条件较好,采用钻孔灌注桩即可达到设计强度要求。钻孔灌注桩施工前利用短螺旋钻开孔,埋设钢护筒深入土体,孔内注入泥浆稳定液后下长螺旋钻,清除下来的土体随着钻杆的螺旋叶片上升排出,钻至设计标高,验孔完成后,下入钢筋笼,为避免沉渣对桩体的影响下入导管进行二次清孔,之后灌注混凝土形成钻孔灌注桩(图 6)。



图 6 钻孔灌注桩现场施工效果

本工程场地位于合肥市区,周边建筑物密集,采用钻孔桩的施工方法,可达到无震动、无噪音、无挤土的目的,对周边环境的影响降至最低;钻孔灌注桩具有施工桩径大,单桩承载力强的优点,该工程围护桩桩径达到 1.2 m,桩径大,所需承载力较大,钻孔桩工艺有着明显的技术优势。

3.2 传力板带施工

开挖至基坑底部后,往上浇筑结构至第 2 圈内框架,待中板、侧墙和框架达到设计强度 100% 后,

在第 2 榀内框架板处的侧墙与围护桩之间浇筑传力板带 1;浇筑至第 1 榀内框架,待侧墙和框架达到设计强度 100% 后,在第 1 榀内框架板的侧墙与围护桩之间浇筑传力板带 2。传力板带的施工布置情况如图 7 所示。

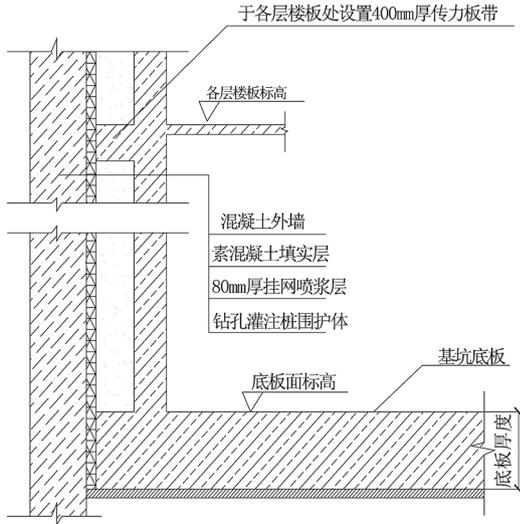


图 7 桩墙间连接件传力板带示意图

传力板带在施工时采用焊接的方法,在主体结构外墙与楼板施工完成前,将围护桩面向坑内的保护层凿除,传力板带的钢筋与围护桩的钢筋焊接牢固后,浇筑混凝土,形成一个整体。

4 工程监测分析

基坑监测是工程施工阶段非常重要的内容,可以检验该工程所使用的技术、结构设计的合理性与正确性,从而保证工程的施工安全和使用安全^[10]。为检验“桩墙合一”结构设计方法在深基坑中的应用是否安全合理,该雨水调蓄池工程通过对围护桩的水平位移、沉降等数据的监测,与预警值进行对比,分析结构的稳定程度是否把控在合理的范围内。监测项目(表 2)及总体监测的点位布置如图 8 所示。

其中通过监测围护桩的水平侧移和基坑周边沉降情况来观察“桩墙合一”技术应用后的效果。围护桩水平侧移监测:利用测斜管和测斜仪,桩顶每 20 m 布置一道监测点,土层深处的桩身每 40 m 布置一道监测点;基坑开挖阶段,监测频率为 1 次/d,地下主体结构施工阶段,依据不同深度处

施工,监测频率从 2~10 次/d 不等,出于对监测难度的考量,深度越深频率越低。基坑周边沉降监测:利用水准仪在基坑四周每 25 m 布置一道监测点;监测频率与监测围护桩水平位移一致。监测控制指标如表 3 所示。

表 2 监测项目说明

图例	监测项目	方法及工具	测点距离	数量
Di	围护结构顶部水平位移监测点	测斜管、测斜仪	桩顶每 20 m 布置一处	17 个
Pi	围护桩深层水平位移监测点	测斜管、测斜仪	桩身每 40 m 布置一处	17 个
DBCi	地表竖向位移监测点	水准仪	每 25 m 布置一处	16 组

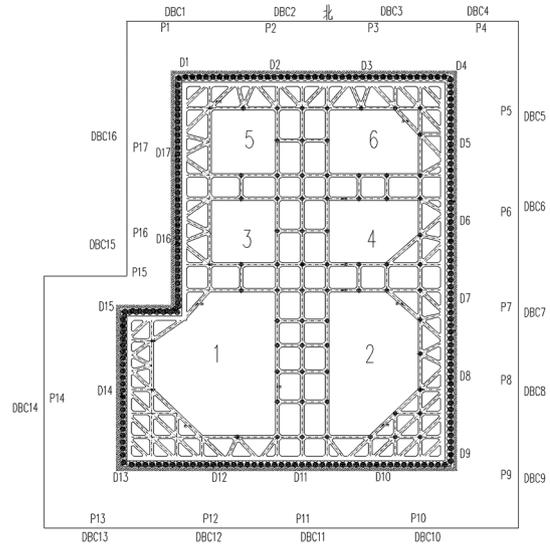


图 8 监测点布置平面图

表 3 监测预警值

监测项目	变化速率报警值 (mm/d)	相对基坑深度 (h) 控制值	累计变化量报警值 (mm)
围护结构顶部水平位移监测点	3.0	0.3%	30
围护桩深层水平位移监测点	3.0	0.5%	± 50
地表竖向位移监测点	3.0	0.2%	20

注:1. h 为基坑设计开挖深度;2. 围护桩顶部及深层水平位移“+”表示向坑内,“-”表示向坑外;3. 地表竖向位移“+”表示沉降,“-”表示上浮

基坑监测数据从基坑开挖开始,结束于基坑底板浇筑完成。由监测结果(图 9)可知,开挖至基底时,桩身水平侧移在开挖时期有明显增大,在开挖到基坑底部的时候桩身的侧移量达到最大值,其中

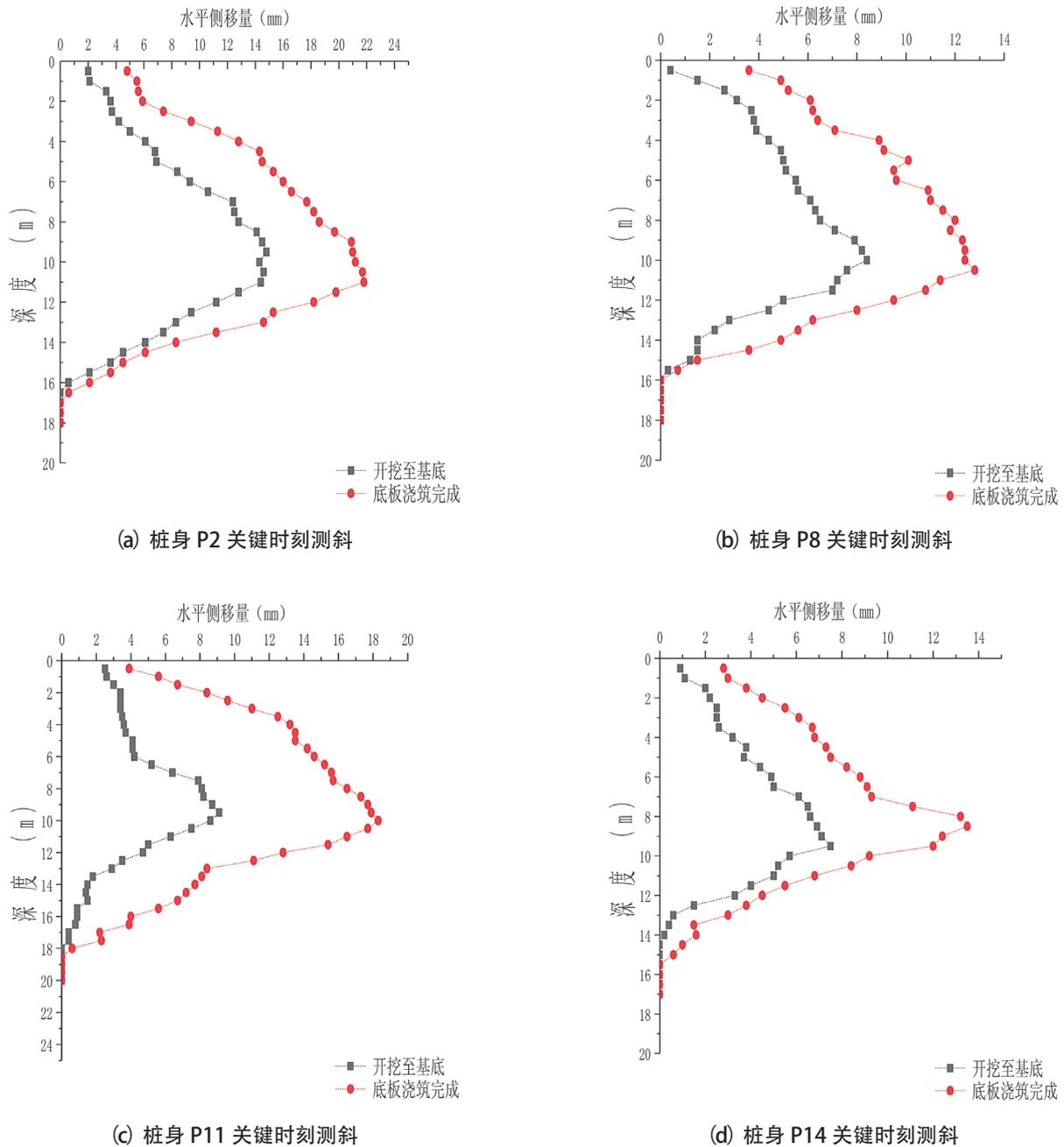


图 9 围护桩测斜监测

桩身 P2 的水平侧移量为最大为 14.8 mm;从基坑底板绑扎钢筋至基坑主体结构完成阶段,底板浇筑完成时,在原来的偏移基础上也发生了较大变化,基坑主体结构底板附近仍然发生了最大的水平侧移,最大值达到 21.8 mm。根据监测结果分析,桩身侧移没有超过预警值,监测数据均在合理的范围内,并且相对于规范规定的预警值,各个桩身的偏移值相对较小,证明了“桩墙合一”设计后的围护桩更加安全可靠。

该雨水调蓄池基坑工程面积较大,在开挖或者地下主体结构施工过程中可能会对周边的建筑物产生影响,因而对基坑四周地表沉降进行监测。根据监测结果显示(见图 10),基坑施工过程中,周边土体有沉降和隆起现象,最大沉降值为 10.2 mm,最大隆起值为 4.8 mm(+为沉降,-为上升),均在有效可控的范围内,依据此监测数据可以说明,该工程的基坑围护结构和设计方法是合理可靠的。

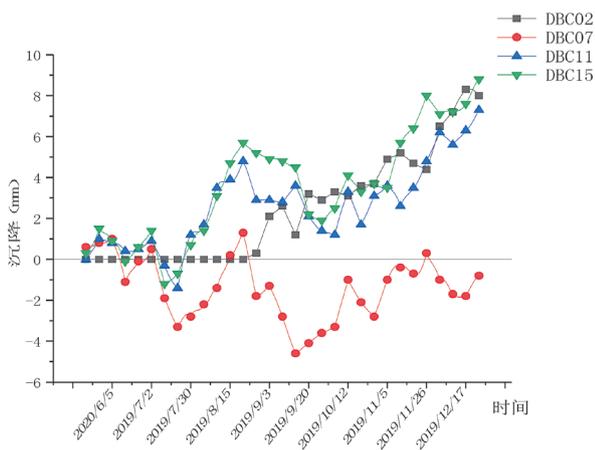


图 10 基坑周边沉降监测

5 结论

通过合肥市某雨水调蓄池深大基坑中“桩墙合一”技术的应用,现得到以下结论:

(1)本工程深大基坑围护结构采用围护桩(冲孔灌注桩)+高压旋喷桩+止水帷幕(混凝土搅拌墙)的形式,围护桩与相邻地下室外墙采用“桩墙合一”的结构设计,使临时的围护桩转变为永久结构,极大优化了传统的围护形式,减小了基坑主体结构的墙体厚度以及桩墙间距,改变了围护桩与墙体的受力特点。

(2)“桩墙合一”的围护设计降低了工程建造成本,满足环境友好、建筑节能与可持续发展的理念,将会对社会产生巨大的经济效益。

(3)根据监测结果显示,“桩墙合一”设计方法在实际的应用过程中,对周围的建筑物影响控制

在合理的范围内,桩身受力保护地下室的外墙,地下主体结构稳定可靠,证明了这一设计形式是合理正确的,可以为以后在其他工程当中的推广应用提供借鉴依据。

参考文献:

- [1] 王卫东,徐中华.深基坑支护结构与主体结构相结合的设计与施工[J].岩土工程学报,2010,32(S1):191-199.
- [2] OU C Y, LAT C H, Finite element analysis of deep excavation in layered sandy and clayey soil deposits[J]. Canadian Geotechnical Journal, 1994,31(2):204-214.
- [3] 王卫东,沈健.基坑围护排桩与地下室外墙相结合的“桩墙合一”的设计与分析[J].岩土工程学报,2012,34(S1):303-308.
- [4] Weng Q P, Xu Z H, Wu Z H, et al. Design and performance of the deep excavation of a substation constructed by top-down method in Shanghai soft soils[J]. Procedia Engineering, 2016, 165:682-694.
- [5] 吴治厚.压灌桩“桩墙合一”技术在逆作法基坑中应用[J].地下空间与工程学报,2018,14(S1):308-314,356.
- [6] 吕蒙军.“两墙合一”地下连续墙支护结构在工程中的应用[J].浙江建筑,2012,29(12):41-45.
- [7] 田卫国,管聪聪.临时基坑支护系统与永久地下室结构“二合一”施工关键技术[J].建筑施工,2017,39(11):1609-1612.
- [8] 胡耘,王卫东,沈健.“桩墙合一”结构体系的受力实测与分析[J].岩土工程学报,2015,37(S2):197-201.
- [9] 楼志军,胡耘,沈健.邻江基坑工程应用“桩墙合一”技术的设计与实践[J].施工技术,2017,46(S2):41-45.
- [10] 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.