

临近供能管沟的超大深基坑支护设计与施工实践

周均立

(上海城建市政工程(集团)有限公司, 上海 200018)

摘要: 以虹源盛世国际文化城工程(基坑面积 93 383 m², 深度 15.3 m)为背景, 研究临近供能管沟的超大深基坑支护设计及施工的关键技术。结果表明, 所设计的基坑支护结构及采用的施工方法可以有效地控制基坑的变形和保护周围环境, 围护结构侧向位移最大值为开挖深度的 0.23%~0.72%, 管沟相邻测点相对位移均小于 20 mm。

关键词: 基坑工程; 超大深基坑; 支护; 施工技术; 监测分析; 临近管线

中图分类号: TU473.2

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2017)03-0401-08

Design and construction practice of super-large deep foundation pit adjacent to energy supply pipeline

ZHOU Junli

(Shanghai urban construction Municipal Engineering (Group) Co. Ltd., Shanghai 200018, China)

Abstract: Based on the background of the foundation pit engineering of Shanghai Hongyuan Prime International Cultural City, the key techniques of the design and construction practice of the super-large deep foundation pit adjacent to the energy supply pipeline are investigated, whose foundation pit area is 93383 square meters and foundation pit depth is 15.3 meters. The results show that the deformation of foundation can be controlled and the surrounding environment can be protected effectively by using those techniques. The maximum lateral displacement of retaining structures is from 0.23% to 0.72% of the foundation pit depth. Relative displacement of adjacent measurement points of the energy supply pipeline are less than 20 mm.

Key words: foundation pit engineering; super-large deep foundation pit; supports; construction technique; monitoring analysis; adjacent pipeline

城市超大深基坑的不断产生, 导致基坑支护设计和施工的难度也越来越大^[1-2]。浦东新区某基坑(面积 46 240 m²、深度 13.9 m)^[1]、上海银行数据处理中心基坑(面积 42 000 m²、深度 12 m)^[3]、上海环球金融中心基坑(面积 7 855 m²、深度 18.35 m)^[4]、上海外滩国际金融服务中心基坑(面积 22 000 m²、深度 20.4 m)^[5]、天津站交通枢纽基坑(面积 32 000 m²、深度 14.5 m)^[6]、天津津塔工程基坑(面积 19 764 m²、深度 19.6 m)^[7]、天津高银 117 大厦基坑(面积 124 100 m²、深度 19.4~26.4 m)^[8]、虹桥枢纽交通中心基坑(面积 39 105 m²、深度 18 m)^[9]等支护设计与施工的成功为类似基坑工程提供了丰富经验。然而, 超大面积深基坑工程因其周边环境、地层条件复杂多样、差异较大, 在满足基坑安全和环境保护要求的前提下, 会引发一大难题即基坑工程的整体设计和施工中

如何设计合理的平面组合、空间结合以及开挖方法以减小不同支护结构间的不平衡力及差异变形, 使其在工程安全性、合理性、经济性等方面发挥更好的作用^[2]。

本文以虹源盛世国际文化城工程为研究背景, 探讨临近供能管沟的超大深基坑支护设计方法以及其开挖方案设计、降水、支撑拆除、监测设计和环境保护等关键施工技术, 并对主要监测结果进行分析, 研究大面积深基坑施工过程中围护结构变形、地表沉降、周边地下综合管线变形和供能管沟沉降的变化规律, 以期类似基坑工程的设计与施工提供参考。

1 工程概况及地质条件

1.1 基坑概况

虹源盛世国际文化城工程位于上海市虹桥商

务核心区北侧的 02 地块, 由北侧通虹路、西侧规划申武路、南侧规划苏虹路和东侧申长路所围, 被锡虹路分为南、北两块分别为 A 区、B 区, 其基坑面积分别为 55 053 m² 和 38 330 m², 周长分别为 964 m 和 775 m, 基坑概况见图 1。02 地块设置三层地下室, 基坑开挖深度为 15.3 m(电梯井及集水井等局部深坑落深 1.3~2.95 m), 属于超大深基坑。



图 1 基坑概况

Fig. 1 Profile of foundation pit

1.2 地质条件

工程场地地貌属于滨海平原地貌, 地基土在勘察深度范围内均为第四系松散沉积物, 各土层

情况及其物理力学性质见表 1。其中, 基坑坑底下部为③层和④层软土, 基坑施工过程中, 易产生蠕变变形甚至剪切破坏, 由于开挖深度较深, 坑底土可能产生较大的卸荷回弹。③层土, 含粉性土颗粒较重, 易渗水, 并可能产生流砂、管涌等现象。局部杂填土底部分布有浜填土, 层底最深处约 5.0 m, 在暗浜及填土分布较厚区域, 第②层褐黄色-灰黄色粉质粘土缺失。对工程区有影响的潜水层和承压含水层, 潜水地下水初见水位埋深为 2.50~3.10 m, 稳定水位埋深为 1.68~2.27 m (绝对标高 2.55~3.28 m); 埋深约 30.0 m 以下的⑦₁₋₁ 和⑦₁₋₂ 土层为承压含水层, 一般埋深变化范围为 3.0~11.0 m, 勘察期间测得⑦₁₋₁ 层承压水位埋深约 6 m。

1.3 周围环境

基坑周边环境条件较复杂, 对环境保护要求较高, 具体见表 2 所示。其中 A 区基坑南侧靠近已建供能管沟, 管沟外壁距离地下室边线为 3.4~3.7 m, 东侧始发井距离地下室边线 3.0 m, 西侧连通道接口已进入红线约 1.8 m; 管沟围护结构深区采用 SMW 工法+支撑形式, 浅区采用拉森钢板桩+两道钢支撑形式, 型钢已拔除; 管沟采用明挖法矩形箱涵施工, 矩形箱涵内净尺寸 5.2 m×3.6 m~3.0 m×2.5 m; 管沟开挖深度在 7.0 m 左右。基坑周围有电力、天然气、污水等 6 种管线。A 区基坑南侧供能管沟环境保护等级为一级, 其余侧及基坑内隔墙环境保护等级为二级。

表 1 各层土的物理力学性质指标

Tab. 1 Physical and mechanical properties of soil layers

序号	土层名称	底层标高/m	状态	重度 /kN·m ⁻³	压缩模量 /MPa	静探 PS 值 /MPa	粘聚力 c/kPa	内摩擦 角 φ/°
① ₁	杂填土	3.15~1.34	—	—	—	—	—	—
②	褐黄-灰黄色粉质粘土	1.33~-0.53	可塑	18.6	4.93	0.66	20	19.0
③	灰色淤泥质粉质粘土	-2.85~-4.33	软塑	17.6	3.70	0.50	12	19.0
④	灰色淤泥质粘土	-7.10~-8.60	流塑	16.9	2.28	0.48	11	12.5
⑤ ₁₋₁	灰色粘土	-15.89~-18.28	软~流塑	17.6	3.15	0.69	13	13.0
⑤ ₁₋₂	灰色粉质粘土	-21.01~-23.24	软~可塑	18.0	3.82	0.96	15	19.5
⑥	暗绿色粉质粘土	-24.31~-26.64	可~硬塑	19.5	6.79	2.39	39	19.0
⑦ ₁₋₁	草黄色砂质粉土	-27.95~-39.00	—	19.1	10.27	7.15	6	33.0
⑦ ₁₋₁ 夹	草黄色粉质粘土	-28.95~-39.97	可塑	19.2	6.73	2.45	34	19.0
⑦ ₁₋₂	灰黄色粉砂	-37.53~-45.29	—	18.9	13.25	13.05	4	34.5
⑦ ₁₋₂ 夹	草黄色粉质粘土夹 砂质粉土	-38.29~-40.47	可塑	18.7	5.97	2.75	24	20.0
⑦ ₂	灰色粉砂	/	—	18.9	13.38	19.79	4	34.5

表 2 基坑周围环境条件

Tab. 2 The environment surrounding the foundation pit			
位置	建筑物名称	与地下结构外墙最近距离 /m	备注
基坑北侧	通虹路	3.0	已建
基坑东侧	申长路	3.0	已建
	03 地块	53.0	晚于本工程施工
基坑西侧	规划申武路	3.0	后建
	申滨路	3.0	已建
	01 号地块	11.0	于本工程前施工
基坑南侧	规划锡虹路	3.0	已建
	供能管沟	3.4~3.7	已建

2 基坑支护方案设计

2.1 围护结构

针对工程区域基坑规模大、安全等级高、工

程地质及周围环境复杂等施工难点，基坑在靠近管沟侧采用地下连续墙(A 区南侧，B 区南侧)＋三轴搅拌桩止水帷幕围护结构，其它侧均采用钻孔灌注桩＋止水帷幕围护结构，混凝土强度分别为水下 C35 和 C30。围护结构设计参数见表 3。

2.2 支撑结构

基坑竖向设置三道水平混凝土支撑，第一道支撑分布范围布置施工栈桥。水平支撑采用对撑、角撑、边桁架形式布置。圈梁尺寸为 1.3 m×0.8 m，支撑尺寸为(1.2 m，1.0 m，0.8 m)×0.8 m 三类。采用临时钢格构柱及立柱桩作为竖向支承构件，格构柱断面尺寸为 0.5 m×0.5 m，由 4 根 L160×160×16 mm 角钢及若干扁钢焊接而成，插入灌注桩深度大于 3.0 m，总长为 16.8 m，立柱桩直径为 0.8 m，有效长度为 26.0 m，桩端持力层进入第⑦1-1 砂质粉土层。

表 3 基坑围护结构设计

Tab. 3 Design of retaining structures						
区域位置	开挖深度/m	灌注桩	入土深度/m	插入比	止水帷幕	止水桩长/m
一般区域	15.3	Φ1 000@1 200	31.5	1: 1.06	3Φ850@1 200	22.3
靠管沟区域	15.3	地下连续墙	30.5	1: 0.99	—	—
靠 1# 地块区域	15.3	Φ800@1 000	29.5	1: 0.93	3Φ850@1 200	22.3
分隔墙	15.5	Φ950@1 150	31.5	1: 1.03	3Φ850@1 200	22.3
分隔墙深坑	16.5	Φ1 000@1200	32.5	1: 0.97	3Φ850@1 200	23.5

2.3 坑内加固

管沟侧基坑内采用 3Φ850@1800 三轴水泥土搅拌桩进行裙边地基加固。沿围护裙边设计加固暗墩，加固土体宽度为 8.0 m，加固深度范围第一道支撑底至坑底开挖面下 4.0 m。坑内局部深坑采用多排高压旋喷桩进行围护并封底，其均采用二重管法施工，水泥掺量为 25%，采用普通硅酸盐水泥。

以 A 区为例，典型基坑支护结构剖面图如图 2 所示。

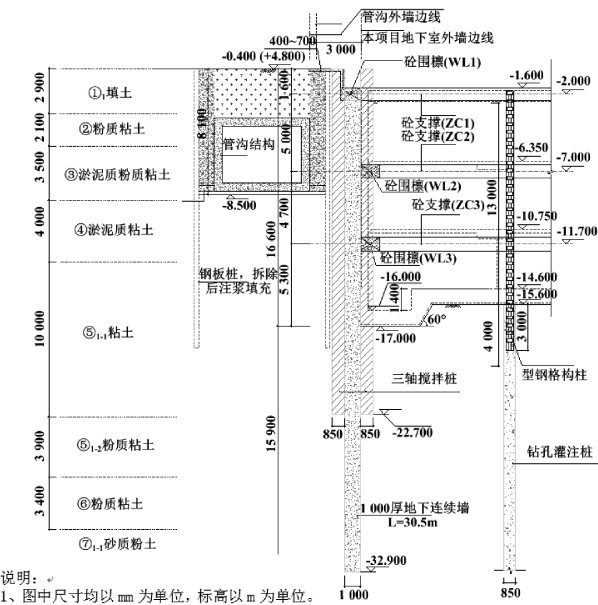
3 超大面积基坑开挖施工关键技术

3.1 基坑开挖方案设计

(1) 基坑整体施工顺序

基坑整体采用明挖顺作法施工。A、B 区基坑均采用分区开挖，即将 A 区和 B 区基坑各划分为三个基坑，对应为 A1、A2 和 A3，B1、B2 和 B3 基坑。为减少相邻区域基坑施工相互影响，施工顺序设为：B 基坑开挖时间晚于 A 基坑 4~6 个月，A1→A2→A3，B1→B2→B3。相邻地块需待先施工地块施工完成后开挖。

(2) 开挖原则及要求对于单区域 A1、A2、A3、B1、B2 和 B3 基坑施工按照“分层分段、留土护壁、限时开挖支撑”原则。基坑不得超挖，开挖面的高差应控制在 2 m 以内，宜按 1: 1.8 放坡。



说明：1、图中尺寸均以 mm 为单位，标高以 m 为单位。

图 2 典型基坑支护结构剖面图
Fig. 2 Sectional view of typical retaining structures

(3)单区域基坑开挖方案比选

为控制基坑开挖对近距离供能管沟的影响,需选择合理开挖方案.以 A1 区基坑为例,基坑分四层开挖,其开挖深度分别为:3.5 m、3.5 m、4.7 m、3.6 m.第一层土方开挖对周围环境影响较小,重点探讨第二、三、四层土方开挖方案.设计两种土方开挖方案(见图 3),具体如下.

(a)方案一,以岛式开挖为主.第 1 层至第 4 层分别有九、八、八和四个施工步骤.以图 4(a)工况

一(1 层)为例表示开挖 1-1 和 1-2 层土方,工况二(1 层)表示开挖 1-3 和 1-4 层土方并施工 1-1 区和 1-2 区支撑栈桥,其他依次类推.

(b)方案二,以盆式开挖为主.其中,第 1 层土方开挖与方案一第 1 层相同,第 4 层土先开挖 4-1 及 4-4,同时施工底板,之后开挖 4-2 及 4-3,同时施工底板.

由于采用以盆式开挖为主的方案二对周围环境影响小,因此选取方案二作为 A1 基坑的开挖方案.

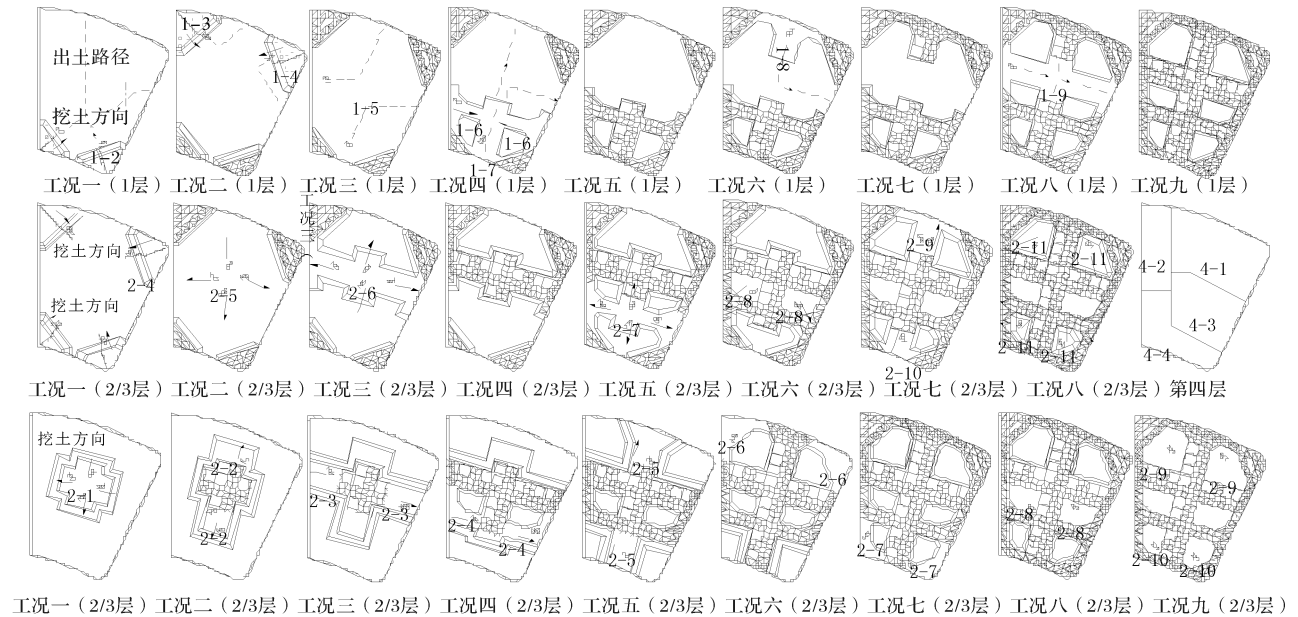


图 3 基坑开挖方案

Fig. 3 Foundation pit methods

3.2 基坑降水技术

基坑降水井设计(以 A 区为例)如表 4 所示.潜水疏干降水的单井有效降水面积为 250 m²,A 区坑内疏干井数为 211 口,基坑开挖前基坑内水位需降至土方开挖面以下 0.5~1.5 m,设计井深为 21 m.经离散模型计算及降水试验验证,承压水减压降水的降压井应深入至⑦₁₋₂层 1~2 m,其井深取 42 m,A 区降压井数为 22 口.承压降水遵循“分步降压、按需抽取”的原则.疏干井及坑内降压井直径均采用外径为 Φ273 mm 的钢管,降压井过滤器外依次外包一层铁丝网和一层 40~60 目尼龙网,疏干井过滤器外包一层 40~60 目尼龙网,沉淀管直径与滤水管相同,长度为 1.00~2.00 m,底口用铁板封闭.

3.3 基坑支撑拆除技术

基坑总体拆除方案为:(a)待第三道支撑 ZC3 达到设计强度 80%后,开挖至坑底,及时浇筑混凝土垫层.(b)施工基础底板(南侧底板与地下连续墙通过预埋构件相连),除南侧施工 300 厚 C30

表 4 基坑降水井设计

Tab. 4 Design of dewatering well

工程部位	项目	井数	井深/m	滤管埋深/m	滤料填埋/m	粘土球埋深/m
A1	疏干井	87	21	4~7、9~14 16~20	2~21	—
	基坑 降压井	9	42	31~41	28~42	23~28
A2	疏干井	59	21	4~7、9~14 16~20	2~21	—
	基坑 降压井	6	42	31~41	28~42	23~28
A3	疏干井	65	21	4~7、9~14 16~20	2~21	—
	基坑 降压井	7	42	31~41	28~42	23~28

混凝土传力带,下部用黄砂填实;待底板达到设计强度 80%后,拆除第三道支撑.(c)施工 B2 层楼板及传力带,待楼板及传力带达到设计强度 80%后,拆除第二道支撑.(d)施工 B1 层楼板及传力带,待楼板及传力带达到设计强度 80%后,拆除第一道支撑,割除型钢立柱.(e)施工 B0 层楼板,地下室外墙与围护结构之间回填黄砂至地

坪. 拆除按照分区、分块进行, 支撑与围檩连接处应先给予凿断, 同时拆撑过程须加强监测.

3.4 基坑监测方案设计

基坑监测点布置平面图(以 A1 基坑为例)见图 4 所示, 图中测点标注仅给出文中分析所用的测点. 监测项目主要包括: 周边地下综合管线变形, 周边地表沉降(DB3-j-DB5-j, $j=1、2、3、4、5$), 围护顶部变形(A1-A31), 围护结构侧向变形(P1-P17), 支撑轴力(AZi-1-AZi-9, i 表示第 1 至 3 道支撑), 立柱桩垂直位移(AL1-AL20), 坑外潜水水位(AW1-AW10), 坑外承压水水位(AY1-AY3), 立柱桩垂直位移(AL1-AL20). 其中周边地下综合管线监测内容主要包括: 上水管线变形(S10-S30、S41-S45), 电力管线变形(D12-D36), 燃气管线变形(R6-R16), 信息管线变形(X10-X27), 雨水管线变形(Y10-Y25), 污水管线变形(W10-W24), 管沟垂直、水平位移(G1-G9), 管沟收敛(SL1-SL2、ZF1-ZF2).

3.5 基坑开挖施工具体实施

以 A 区基坑施工为例, 基坑开挖施工具体实

施工况见表 5.

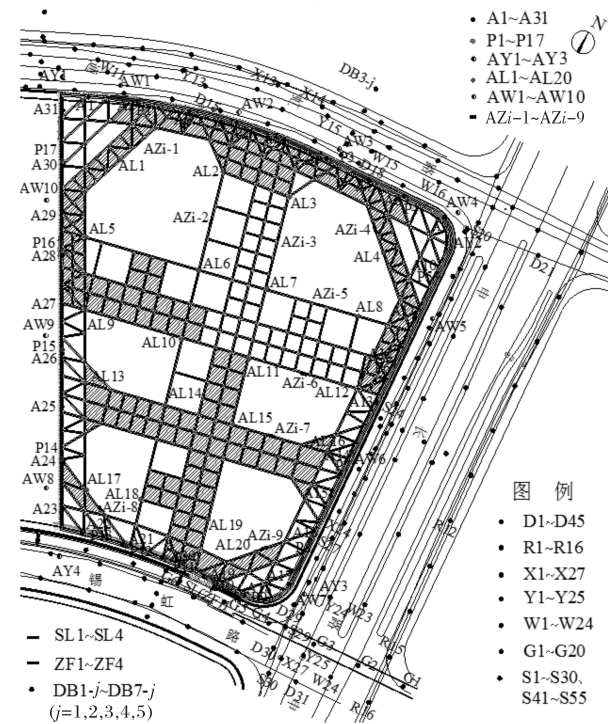


图 4 监测点布置平面图

Fig. 4 Plan of monitoring points arrangement

表 5 基坑施工情况

Tab. 5 State of foundation pit construction

日期	工况概述
2012. 09. 28-2013. 07. 23	灌注桩、工程桩、三轴搅拌桩施工
2013. 07. 27-2013. 09. 19	围护桩施工、高压旋喷桩、搅拌桩施工; 02 地块开挖第一层土、A1 区圈梁施工及养护
2013. 09. 21-2013. 10. 26	A2、A3 区围护桩施工, A1 区第二层土开挖及第二道支撑施工, 01 地块开挖
2013. 10. 27-2013. 11. 22	A2、A3 区围护桩施工, A1 区第三层土开挖, 01 地块开挖
2013. 11. 23-2013. 12. 19	A1 区第四层土开挖, A2 第一层土开挖, A3 区围护桩施工
2013. 12. 20-2014. 02. 10	A1 区第四层土开挖, 底板施工及养护; A2 第一层土开挖、第一道支撑施工及养护, A3 区围护桩施工
2014. 02. 13-2014. 04. 01	A1 区第三道支撑拆除、地下结构施工, A2 区第二层土开挖、第二道支撑施工及养护
2014. 04. 02-2014. 04. 29	A1 区地下结构施工及养护、第二道支撑拆除, A2 区第三层土开挖及第三道支撑施工
2013. 04. 30-2014. 05. 01	A1 区第二道支撑拆除; A2 区第四层土开挖及第三道支撑施工
2014. 05. 02-2013. 05. 23	A1 区第二道支撑拆除, 地下二层结构施工; A2 区第四层土开挖; A3 区第一层土开挖及第一道支撑绑扎
2014. 05. 24-2014. 06. 28	A1 区地下二层结构施工及局部二层顶板养护; A2 区第四层土开挖, 底板施工及养护; A3 区第一层开挖及第一道支撑施工
2014. 06. 29-2014. 07. 06	A1 区地下二层结构施工, 局部地下二层顶板养护, 南侧第一道支撑拆除; A2 区底板施工及养护; A3 区灌注桩施工
2014. 07. 07-2014. 09. 09	A1 区第一道支撑拆除、地下一层结构施工; A2 区第三道支撑拆除及三层结构施工; A3 区灌注桩、圈梁及第一道支撑施工
2014. 09. 10-2014. 09. 16	A1 区基坑北侧地下结构施工, 南侧顶板养护; A2 区第二道支撑拆除; A3 区圈梁养护
2014. 09. 17-2014. 10. 21	A1 区基坑北侧地下结构施工; A2 区第二道支撑拆除及地下结构施工; A3 区开挖
2014. 10. 22-2014. 11. 06	A1 区基坑地下结构施工; A2 区第一道支撑拆除及地下结构施工; A3 区开挖

4 基坑监测结果分析

4.1 围护结构的侧移

图5为不同埋深围护结构侧向位移变化趋势(以测点P10及P13为例)。由图可见,围护结构侧移随着开挖深度的增大而增大,同一测孔最大侧移所处的土体深度逐渐加深。以A1区基坑为例,其共布设17个围护结构侧移监测点,汇总各测点监测结果,结果显示,基坑开挖完毕时,各测点最终侧向位移最大值在35~110 mm之间变化,约为开挖深度的0.23%~0.72%,该结果与徐中华等^[10]、李镜培等^[1]统计结果较近,由此说明本工程控制变形的的设计方法是可行的。其中南侧地下连续墙围护结构最终侧向位移的最大值相对较小,侧向位移最大值位置位于埋深12~20 m的范围内,多数测点位于埋深15 m附近,而基坑开挖深度为15.3 m,可见围护侧向位移最大值位置位于基坑开挖面附近,该结果与OU等^[11]及李镜培等^[1]研究结果一致。

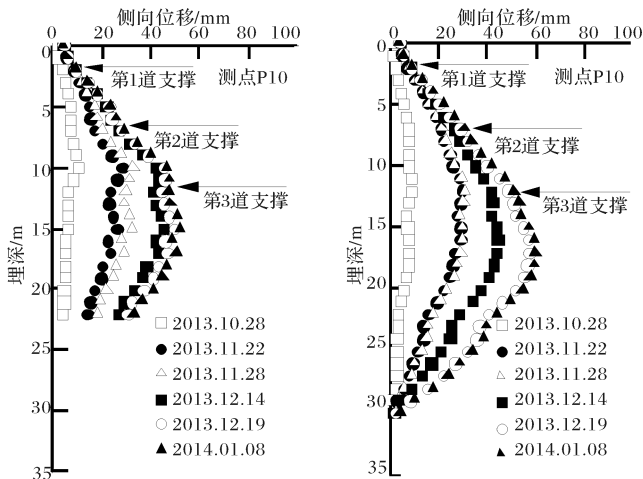


图5 围护结构侧向位移变化规律

Fig. 5 Variation laws of lateral displacement of retaining structures

4.2 地表沉降

以DB3测点为例,地表沉降监测结果如图6所示。由图可知,在开挖初期(0~50),距离基坑不同距离的土体的沉降量基本一致,且沉降量较小,即开挖深度较浅的时候,基坑对周边土体的影响不明显。随着开挖深度的增大,距离基坑不同距离的土体出现明显的差别沉降,靠近基坑边的测点DB3-1与远离基坑边的测点DB3-5沉降较小,而中间范围的测点DB3-2、3、4的沉降量较大,则对基坑周边一定范围内的土体有影响,即存在一定的土体沉降影响半径,统计表明影响半径约为10~40 m之间;这是因为,靠近基坑边的土体受连续墙的约束作用,沉降量较少,而远处

的土体受基坑的影响作用较弱,故造成了中间区域的土体沉降较大。随着开挖的继续,基坑逐渐成型并稳定,土体的沉降也逐渐趋于稳定,但开挖区附近的土体沉降仍在增大,基坑周边地表沉降最大值约为125 mm,约为开挖深度的0.8%。发生较大沉降变形的原因则是降水,降水所引起的沉降影响范围要远大于基坑自身开挖所引起的沉降范围,因此控制基坑周围环境的影响,除了需要选择合适的施工方法,还需要综合考虑现场施工条件、水文地质条件、隔水帷幕特征以及基坑周边环境特征与保护要求等,选用合理的降水方案^[1]。

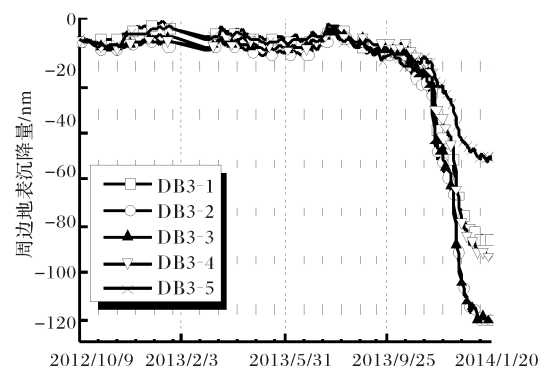


图6 地表沉降监测结果

Fig. 6 Ground settlements on the measuring point DB3

4.3 周边地下综合管线变形

图7为周边地下综合管线沉降历时曲线(以上水和燃气管线为例)。管线沉降监测自工程施工开始,经历了围护结构和桩基施工、基坑降水、基坑开挖和底板浇筑等施工过程,电力管线、上水管线、信息管线、雨水管线、污水管线、燃气管线最终沉降最大值依次为100、105、115、110、125、150 mm,即基坑周边管线沉降最大值为100 mm~150 mm,约为开挖深度的0.65%至0.98%。由图8可知,各管线沉降的历时曲线基本一致,且与地表沉降规律基本相似。本基坑地下管线沉降主要为均匀沉降,施工期间管线均能正常运行,说明本方案可以有效保护基坑周边管线。

4.4 供能管沟沉降

图8为供能管沟各测点沉降和相邻测点相对位移历时曲线。由图可见,测点G1沉降量最大,约为53 mm,而该测点距地下室外墙线大于60 m,分析原因该测点出现较大沉降量是由于其上方道路施工所致。其他测点沉降量随着基坑开挖逐渐增大且最终趋于稳定,测点G4、G5、G6(距离地下室外墙线3.4~3.7 m)最终沉降量分别为37、29、38 mm。基坑开挖引起管沟相邻测点(测点间

距为 20 m) 相对位移总体上小于 20 mm, 即该位移值在容许范围内。

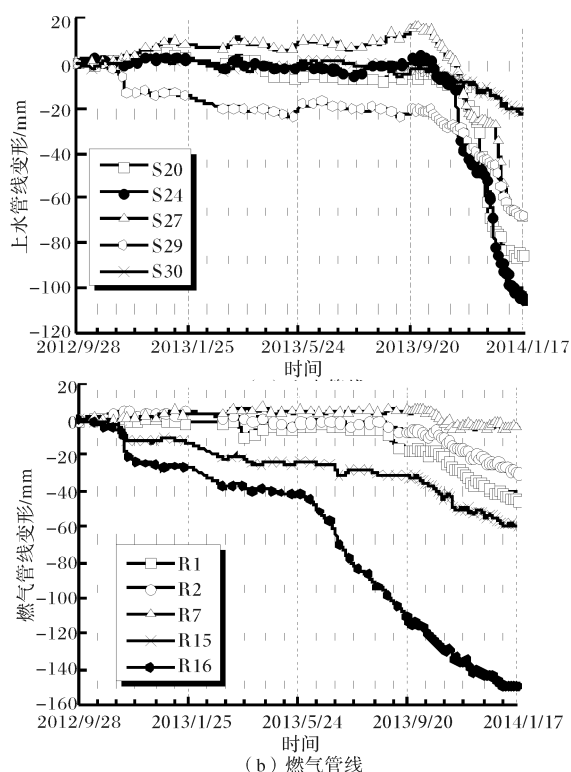


图7 地下管线沉降历时曲线

Fig. 7 Time-history curves of settlement of underground pipelines

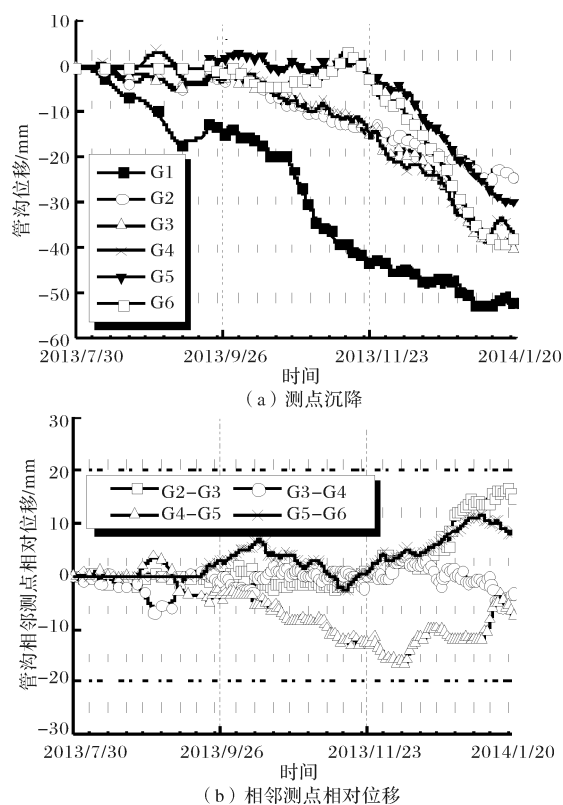


图8 供能管沟沉降历时曲线

Fig. 8 Time-history curves of settlement of energy supply pipeline

5 结论

针对虹源盛世国际文化城工程区域基坑规模大、安全等级高、工程地质及周围环境复杂等施工难点, 探讨了超大深基坑支护设计及施工的关键技术, 并对主要监测结果进行了分析, 主要结论如下:

(1) 基坑围护结构侧移随着开挖深度的增大而增大, 同一测孔最大侧移所处的土体深度逐渐加深。基坑开挖完毕时, 各测点最终侧向位移最大值约为开挖深度的 0.23%~0.72%, 说明本工程围护侧移被有效控制; 侧向位移最大值位置位于埋深 12~20 m 的范围内, 多数测点位于埋深 15 m 附近, 而基坑开挖深度为 15.3 m, 说明围护侧向位移最大值位置位于基坑开挖面附近。

(2) 基坑开挖初期对周围地表沉降并不显著, 之后各测点沉降差异较大, 一定范围影响较大, 存在沉降影响半径, 统计表明其约为 10~40 m 之间; 最大沉降较大, 被控制为开挖深度的 0.8% 以内, 其主要成因为降水。

(3) 周边地下综合管线沉降最终为开挖深度的 0.65% 至 0.98%, 其变形规律与地表沉降规律基本相似且主要为均匀沉降。

(4) 基坑开挖引起近距离管沟相邻测点(测点间距为 20 m) 相对位移总体上小于 20 mm, 在容许范围内。

(5) 监测结果表明所设计基坑支护结构及所采用施工方法可有效控制超大深基坑自身变形及保护周围环境。

参考文献 References

- [1] 李镜培, 柏挺, 杨军. 框架逆作超大基坑施工对周边环境的影响[J]. 岩石力学与工程学报, 2012, 31(11): 2354-2362.
LI Jingpei, BAI Ting, YANG Jun. Influence of construction of super-large excavation with frame-top-down method on environments[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2012, 31(11): 2354-2362.
- [2] 吴西臣, 徐杨青. 深厚软土中超大深基坑支护设计与实践[J]. 岩土工程学报, 2012, 34(s): 404-408.
WU Xichen, XU Yangqing. Design and practice of large-scale deep excavations in deep soft soils[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2012, 34(s): 404-408.

(下转第 415 页)

- YU Weiwei. Comparative study on certification system of green building evaluation criteria between China and America[J]. Chongqing: Chongqing University, 2008.
- [8] 周同. 美国 LEED-NC 绿色建筑评价体系指标与权重研究[D]. 天津:天津大学, 2014.
- ZHOU Tong. The research on credits and weighting of U. S. LEED-NC green building rating system [D]. Tianjin: Tianjin University, 2008.
- [9] 江步. 绿色建筑设计方法研究[D]. 武汉:华中科技大学, 2008.
- JIANG Bu. Research on the methodology of green architecture design[D]. Wuhan: Huazhong University of Science & Technology, 2008.
- [10] 胡芳芳. 中英美绿色(可持续)建筑评价标准的比较[D]. 北京:北京交通大学, 2010.
- HU Fangfang. The comparison of green(sustainable) building evaluation standard in China, Britain and United States[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2010.
- [11] 付晓惠. 绿色建筑整合设计理论及其应用研究[D]. 成都:西南交通大学, 2011.
- FU Xiaohui. The research of green building integrated design theory and its application [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2011.

(编辑 吴海西)

(上接第 407 页)

- [3] 李华, 杜长勤, 陈克明. 上海银行数据处理中心超大深基坑土方开挖技术[J]. 施工技术, 2010, 39(1): 71-73.
- LI Hua, Du Changqin, Chen Keming. Earth excavation technology of super-large foundation excavation of data processing center for bank of shanghai[J]. Construction Technology, 2010, 39(1): 71-73.
- [4] 张具寿, 黄沛, 钱水江, 等. 超大直径圆形无支撑深基坑施工技术[J]. 岩土工程学报, 2006, 28(s): 1737-1741.
- ZHANG Jushou, HUANG Pei, QIAN Shuijiang, et al. Construction techniques of deep foundation pits with circular self-sustaining and super large diameter [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2006, 28(s): 1737-1741.
- [5] 陈萍, 王卫东, 丁建峰. 相邻超大深基坑同步开挖的设计与实践[J]. 岩土工程学报, 2013, 35(s): 555-558.
- CHEN Ping, WANG Weidong, DING Jianfeng. Design and application of synchronous construction of two neighboring deep excavations[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2013, 35(s): 555-558.
- [6] 窦华港, 焦莹. 预留反压土中心顺作法在某超大深基坑中的应用[J]. 岩土工程学报, 2008, 30(s): 484-488.
- DOU Huagang, JIAO Ying. Application of earth berm and bottom-up method in as extralarge deep excavation project[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2008, 30(s): 484-488.
- [7] 田贺维, 周予启, 刘卫未. 天津津塔工程超大深基坑施工技术[J]. 施工技术, 2010, 39(1): 14-21.
- TIAN Hewei, ZHOU Yuqi, LIU Weiwei. Construction technology of super large and deep foundation excavation in tianjin tower[J]. Construction Technology, 2010, 39(1): 14-21.
- [8] 侯玉杰, 余地华, 艾心荧, 等. 天津高银 117 大厦工程超大深基坑降水关键技术研究与应用[J]. 施工技术, 2014, 43(13): 1-5.
- HOU Yujie, YU Dihua, AI Xinying, et al. Research and Application of dewatering key technology of ultra-large and deep foundation excavation in Tianjin goldin finance 117 Project [J]. Construction Technology, 2014, 43(13): 1-5.
- [9] 邹腾辉. 超大深基坑单边采用六级放坡挖土的施工实践[J]. 建筑施工, 2010, 32(3): 191-192.
- ZOU Tenghui. Constructional practice on excavation with Six-Step slope at each side for super large and deep foundation Pit[J]. Building Construction, 2010, 32(3): 191-192.
- [10] 徐中华, 王建华, 王卫东. 上海地区深基坑工程中地下连续墙的变形性状[J]. 土木工程学报, 2008, 41(8): 81-86.
- XU Zhonghua, WANG Jianhua, WANG Weidong. Deformation behavior of diaphragm walls in deep excavations in Shanghai [J]. China Civil Engineering Journal, 2008, 41(8): 81-86.
- [11] OU C Y, HSIEH P G, CHIOU D C. Characteristics of ground surface settlement during excavation[J]. Canadian Geotechnical Journal, 1993, 30(5): 758-767.

(编辑 沈波)