

复杂条件下局部永久性基坑支护设计实践

张有祥, 杨素春, 王 坚, 吴民利

(北京市勘察设计研究院有限公司, 北京 100038)

摘要: 工程中较少遇到拟建地下室外墙距离邻近柱基础边极近(约0.66 m)、且局部为永久性支护的基坑工程, 如何设计基坑的围护结构和永久性支撑体系是此类基坑工程的难点。根据笔者的设计实践, 对围护结构, 采用方形支护桩、将锚杆设置在支护桩上以节约避免设置腰梁空间等措施; 对永久性支撑体系, 设置压力分散型锚杆及锚头部位设置混凝土罩(砼罩内设置箍筋、表面涂水泥基渗透结晶型防水涂料)等措施。第三方监测的基坑水平位移和沉降较小, 说明设计合理。

关键词: 压力分散性锚杆; 支护桩; 永久性基坑支护; 锚头

中图分类号: TU473 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4548(2012)S0-0409-06

作者简介: 张有祥(1979-), 男, 湖北武穴人, 博士, 工程师, 主要从事基坑工程、地基处理工程、边坡工程等方面的设计、施工及研究工作。E-mail: zyxzyx2009@163.com。

Design practice of local permanent excavation support under complex conditions

ZHANG You-xiang, YANG Su-chun, WANG Jian, WU Min-li

(Beijing Geotechnical Institute Engineering Consultation Limited, Beijing 100038, China)

Abstract: There are few excavation supporting projects in which the distance between basement exterior wall and column foundation is very close (about 0.66 m) and local permanent excavation support is included. The design difficulty is how to reasonably select the retaining structures and the bracing system. According to the design practice, the measures of square supporting piles and the anchors installed at supporting piles not to be set at middle beam for saving space are adopted for the retaining structures. And the measures of pressure dispersive anchors and anchor heads sealed by concrete cover where stirrup is installed in them and cementations capillary crystalline waterproofing coating materials are coated on their surfaces are adopted for the bracing system. The horizontal displacement and settlement of the excavation provided by the third party are relatively small, and it means that the design for the excavation is reasonable.

Key words: pressure dispersive anchor; supporting pile; permanent excavation support; anchor head

0 引言

随着我国城市建设的不断发展, 中心城区的建筑用地逐渐减少, 建筑物之间间距也就越来越近, 而目前建筑一般都带有地下室, 且地下室深度较大, 由此导致拟开挖的基坑距离临近建筑物基础或地下室距离较近, 甚至为“零距离”接触。如何合理的设计基坑支护方案, 减少基坑施工对临近建筑物的影响, 是基坑支护设计的重点和难点。

另外, 基坑工程一般为临时性构筑物, 待地下室结构施工完工后其基坑肥槽一般均需回填至室外设计标高, 基坑工程完工。因此基坑的围护结构(如支护桩)及支撑结构(如锚杆)均为临时性构件, 设计时按临时性构件设计考虑, 然而随着地下工程的使用功能提高, 有些基坑工程局部需要设计为永久性支护,

这就导致一个基坑工程中既包含临时性基坑支护, 又包含永久性基坑支护。如何合理地设计永久性部分的基坑支护是基坑工程中的新问题和难点。

虽然国内对复杂环境下基坑支护的理论研究和工程应用取得了长足发展^[1-3], 但在工作面狭小、周边建筑物对基坑位移敏感、且局部存在永久性的基坑支护设计, 在实际工程设计中极少见。本文将结合北京地区某局部永久性支护的复杂基坑工程的设计实践, 说明基坑与临近建筑物基础“零距离”接触及局部为永久性的基坑设计中遇到的难点和出现的新问题等的解决办法, 并根据监测结果说明设计的合理性, 具有一定的工程实践意义, 可为类似工程提供设计思路。

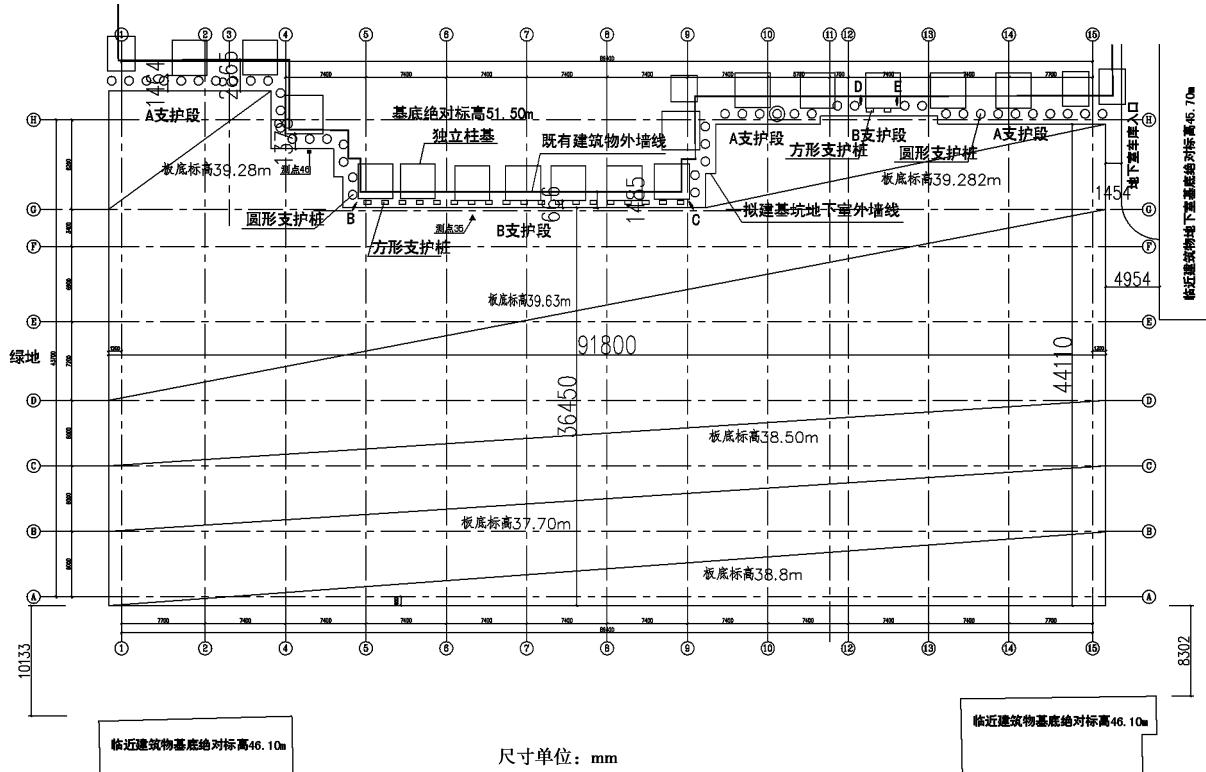


图1 周边环境示意图

Fig. 1 Sketch map of surroundings

1 工程概况

某纯地下室工程, 地下3层, 地上0层。地下室平面形状成“凹”形, 东西长约92 m; 南北向: 凹形突出部分长约44.1 m, 凹形凹入部分长约36.5 m。基坑深度13.6~16.6 m, 东西两侧和北侧凹形部分, 因建设单位需求, 局部需要采用永久性基坑支护设计。周边环境如下:

北侧: 凹形凹入部位, 距离北侧柱基础(尺寸3000 mm×3000 mm)约0.66 m, 距离北侧临近建筑物外墙约1.5 m; 凹形两侧突出部位, 距离柱基础(荷载180 kPa)约1.5 m, 距离临近建筑物外墙约1.5~2.9 m。与凹形部位临近的北侧建筑为高精度激光设备, 对位移极为敏感。

东侧: 距离已有地下室外墙约5.0 m, 距离地下车库入口约1.5 m。

南侧: 距离已有建筑物约8.3~10.0 m。

西侧: 西侧为绿地。

基坑周边无管线, 基坑形状及周边环境见图1。

2 水文地质条件

本场地主要地层从上至下依次为黏质粉土—砂质粉土填土①层、砂质粉土②层、细砂—粉砂③层、卵

石④层、卵石⑤层、卵石⑥层, 各土层主要参数(厚度、重度、内摩擦角和黏聚力等)具体情况见图2。地下水埋深约30 m, 故本基坑可不考虑地下水影响。

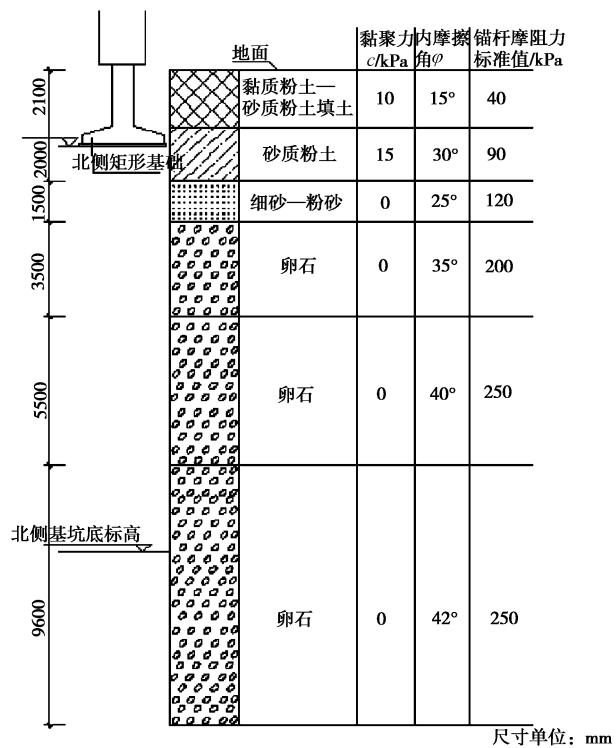


图2 典型地质剖面及土层参数
Fig. 2 Typical geological section and soil parameters

3 设计方案

由拟建场地的周边环境(见图1)可知, 北侧柱基础和已有建筑物外墙距离本地下室外墙距离较近, 且北侧存在永久性基坑支护(A支护段); 其它三侧的周边环境相对宽松, 故本基坑支护工程难点在北侧, 因此本文将只针对北侧基坑的支护进行分析设计。

3.1 本工程的特点和难点

通过以上的分析, 本工程有以下几个特点和难点:

(1) 基坑北侧环境复杂: 既有建筑基础为独立柱基, 独立柱基以下开挖深度约12.00 m(见图3), 独立柱基距离拟建地下室外墙最近约0.66 m(B支护段部分, 见图1), 支护结构难施工。

(2) 周边建筑物对位移敏感: 北侧建筑基础形式为独立柱基, 该种类型基础对位移较敏感, 且建筑物内为精密激光仪器, 对位移非常敏感, 稍有位移将导致仪器不能准确、正常工作。

(3) 存在永久性基坑支护: 因建设单位需要在地下室内安装大型进口机械设备, 而该设备只能在地下结构完成后, 从地下室顶部运输到地下室, 因此地下室底板不能完整地布置在整个地下空间的平面范围内, 故此部分的地下室外墙不能作为挡土墙承担土压力, 需要设计为永久性基坑支护(A支护段部分)。

(4) 建设单位对经济指标和工期要求高。

3.2 基坑支护设计分析

(1) 围护结构设计分析

本基坑北侧建筑物对基坑施工和运行过程中产生的位移非常敏感, 因此应选择侧向刚度较大的围护结构, 以减小基坑位移, 依据现行设计规范^[4-5], 可采用连续墙和支护桩两种方案。

a) 连续墙方案: 连续墙施工工作面一般需要1.5~2.0 m, 而北侧B支护段柱基础至拟建建筑物地下室外墙约0.66 m, 难满足要求。

且连续墙每幅的长度约3~6 m, 也即在柱基础边挖深度约20 m、宽度约3~6 m、厚度约0.6~0.8 m的泥浆护壁槽段, 且连续墙施工过程机械产生振动等, 这些将对柱基础产生一定的位移和沉降, 影响北侧建筑的稳定性, 更影响建筑物内精密激光仪器的使用。

另外连续墙在卵石层中施工速度慢、工期长、难度大、费用高等, 也不能满足建设单位对经济指标和工期要求。

因此, 连续墙围护方案无论是技术上还是经济上均不是最佳的选择。

b) 支护桩方案: 本场地卵石层比较厚, 且粒径较大(最大直径约0.4 m), 直径0.8 m的钻孔可采用

悬挖钻机和人工挖孔桩两种方法完成。

采用悬挖钻机成孔同样存在施工工作面不够和施工过程中振动的影响, 因此不宜采用。

采用人工挖孔进行成孔, 对施工工作面要求低, 且施工过程中几乎不产生振动, 均能满足基坑北侧对支护桩的要求, 故采用人工挖孔桩成孔。

对于北侧A支护段可采用直径为0.8 m的人工挖孔桩; 对北侧B支护段, 因为施工工作面的限制, 应采用截面形式为方形的支护桩, 厚度0.35 m, 宽度0.6 m, 方形支护桩的难点是如何成桩。

(2) 支撑结构设计分析

依据现行设计规范^[4,5], 本基坑可采用的支撑结构有内支撑和预应力锚杆两种形式。

a) 内支撑方案: 因建设单位需要, 本基坑工程存在局部永久性支护, 而在永久性支护部分, 当内支撑拆除后, 土压力将由地下室外墙承担, 不满足结构设计对永久性支护部分地下室外墙的要求, 故不采用内支撑方案。

同样, 因为内支撑方案, 涉及到立柱的施工, 内支撑标高受到楼板和结构柱的影响, 且内支撑方案造价较高、工期长、出土不方便, 故不符合建设单位对经济指标和工期要求。

因此, 内支撑方案在技术不可行, 在经济上造价高、工期长, 故不采用。

b) 预应力锚杆方案: 本场地地层条件较好, 主要为卵石层(见图2), 其强度参数和变形模量均较大, 地层长期蠕变小, 这些因素均有利于采用预应力锚杆的发挥, 也非常有利于建筑物的位移控制。且可将锚杆设置在支护桩上, 避免设置腰梁, 从而可减少工作面(本方案方形支护桩加锚头总长度为0.5 m, 小于北侧独立柱基础至地下室外墙距离约0.66 m, 满足要求)。因此预应力锚杆方案可通过施加锚杆预应力, 有效控制基坑的位移, 以满足要求。

另外, 锚杆的施工进度, 可通过增加锚杆机械数量来节省时间, 且锚杆费用较内支撑经济, 故采用预应力锚杆支撑方案设计。

对于临时性支护区域(B支护段), 采用普通拉力型锚杆即可; 对于永久性支护, 需要对锚杆进行一级防腐措施, 故选择压力分散性锚杆^[6], 该种类型的锚杆重点是承载体的选择和锚杆防腐措施。

3.3 设计方案

(1) 围护结构设计方案

依据上述分析, 在A支护段区域, 柱基距离地下室外墙最近距离约1.4 m, 采用圆形人工挖孔桩, 直径0.8 m, 间距1.6 m。为避免对柱基造成不利影响, 要求同一柱基下同时只能进行一根人工挖孔作业, 且

相邻挖孔作业间距应不小于 3 倍的支护桩间距，支护桩的长度、标高等见图 3。

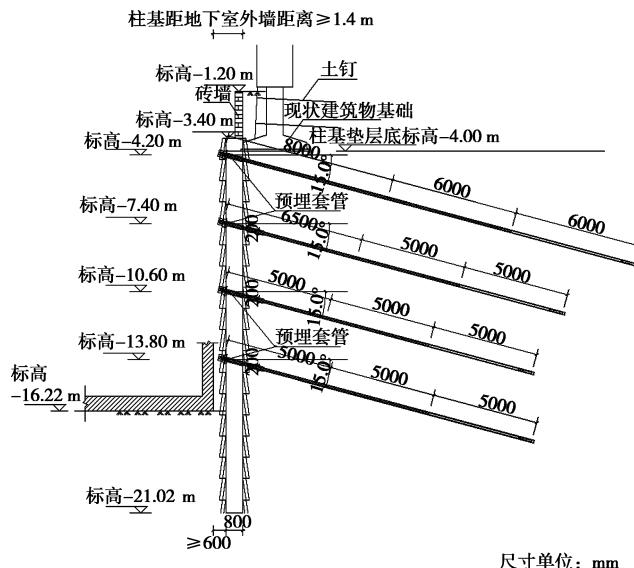


图 3 A 支护段剖面图

Fig. 3 Section of support A

在 B 支护段区域, 柱基距离地下室外墙最近距离约 0.66 m。若采用圆形挖孔桩, 则支护桩进入柱基础内约 0.75 m, 占柱基础宽度的 1/4, 对柱基础扰动大, 成孔后, 支护桩钢筋笼不能在地面做成成品直接调运, 只能在孔内安装钢筋笼, 且操作人员在柱基础 (荷载 180 kPa) 底下进行成孔和安装钢筋笼作业时间长、危

险大，故不采用圆形支护桩。因此拟采用方形支护桩（尺寸 $600\text{ mm} \times 350\text{ mm}$ ），人工挖孔成孔，成孔时进入柱基础约 0.35 m ，大大减少对柱基的扰动，且钢筋笼安装也能顺利完成，方形支护桩的长度、截面尺寸、标高等见图 4。

将厚度 20 mm、宽度 600 mm、板底与坑底齐平的聚苯板固定在钢筋笼靠近基坑侧的侧面上，以便于锚杆施工时，将聚苯板靠近坑内侧的砼剥除。浇筑方桩砼时，对于坑底以下的砼可一起浇筑，坑底以上砼，应保证聚苯板靠近基坑内侧部分的砼面略高于坑外砼面，确保不因聚苯板向坑内侧变形影响锚头施工工作面，见图 5。

(2) 支撑结构设计方案

由分析可知,本工程采用预应力锚杆作为支撑体系,由于北侧工作面较小,无法设置腰梁,锚杆直接设置于支护桩上。为了方便施工,在施工支护桩时应在支护桩对应的锚杆标高位置预埋壁厚3 mm、直径200 mm的套管。

B 支护段为临时性支护, 采用普通拉力型锚杆即可, 无特殊要求, 不再详述, 锚杆的自由段、锚固段长度、角度及标高等见图 4。

A 支护段为永久性支护, 预应力锚杆为永久性支护结构, 关键是防腐措施要可靠有效, 其防腐等级为

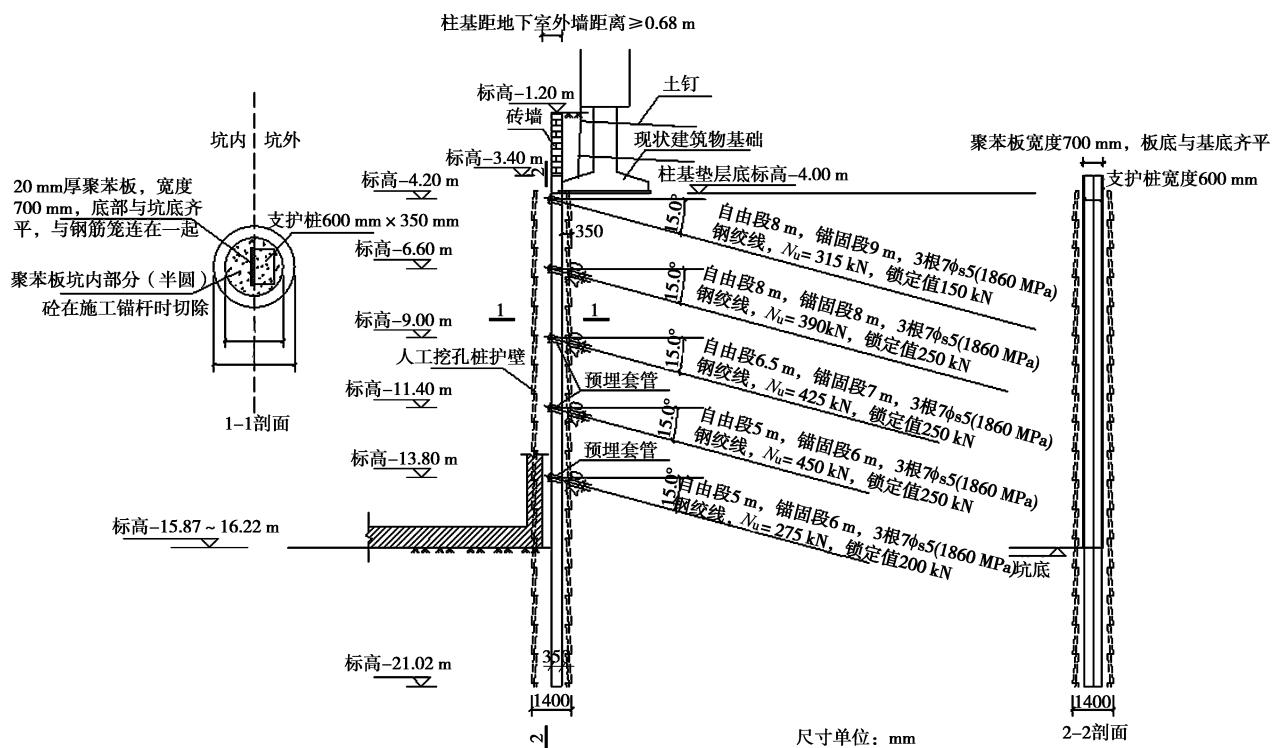


图 4 B 支护段剖面图

Fig. 4 Section of support B

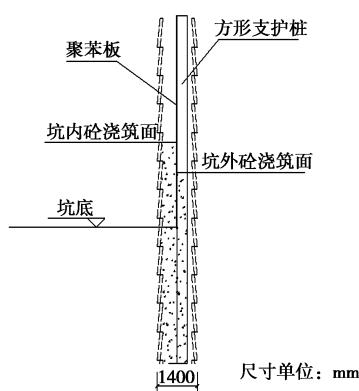


图 5 方形支护桩砼浇筑示意图

Fig. 5 Sketch of pouring concrete of square supporting pile

一级, 防腐措施分两个部分: ①永久性锚杆杆体防腐部位, 采用压力分散型锚杆, 承载体采用高分子材料, 钢绞线采用无黏结钢绞线, 锚杆的各单元体长度、锚固段长度、角度及标高等见图 6 和表 1, 压力分散型永久性锚杆结构见图 6; ②锚头防腐部位, 采用砼罩, 内部配置箍筋, 罩面涂水泥基渗透结晶型防水涂料, 见图 7。

表 1 A 支护段压力分散型锚杆参数

Table 1 Parameters of pressure dispersive anchor in support A

项目	第一排锚杆		第二排锚杆		第三排锚杆		第四排锚杆	
	1 单元	2 单元						
单元锚杆长度/m	20.0	14.0	16.5	11.5	15.0	10.0	15.0	10.0
单元锚固段长度/m	6.0	6.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0

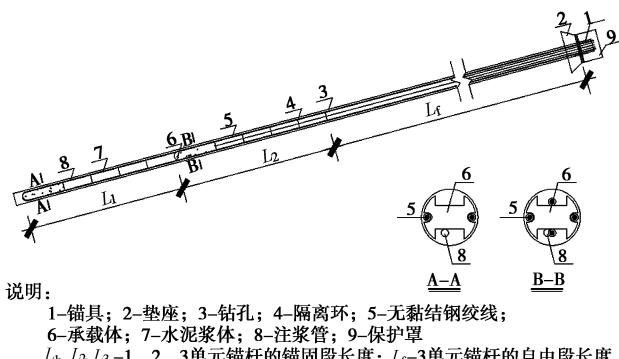


图 6 压力分散性锚杆示意图

Fig. 6 Sketch of pressure dispersive anchor

4 监测结果和理论计算分析

基坑北侧因场地狭小, 无足够的空间进行测斜和锚杆轴力监测, 只进行了水平位移和沉降监测 (测点位置见图 1), 监测结果见图 8。

由监测结果可知, 基坑水平位移和沉降随基坑开挖深度的增加而增大。其水平位移范围为 $-0.5 \sim 2.5$ mm, 其中负值原因为锚杆锁定力偏大 (锁定值为 0.8

倍设计值) 导致; 坡顶沉降在 1.8 mm 以内; 均小于理论计算的水平位移值 (约 5 mm) 和沉降 (约 10.5 mm), 见图 9。基坑挖至坑底以后, 水平位移和竖向沉降基本稳定。

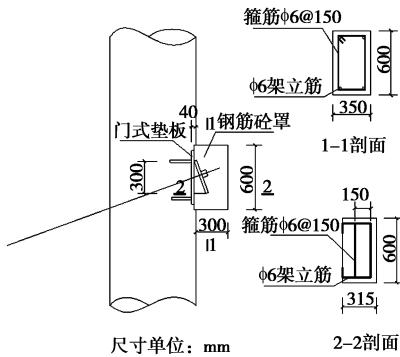


图 7 锚头节点图

Fig. 7 Node of anchor head

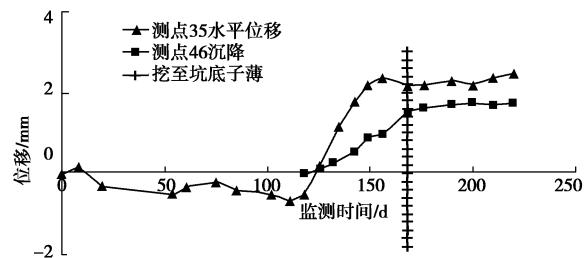


图 8 基坑位移图

Fig. 8 Displacement of excavation

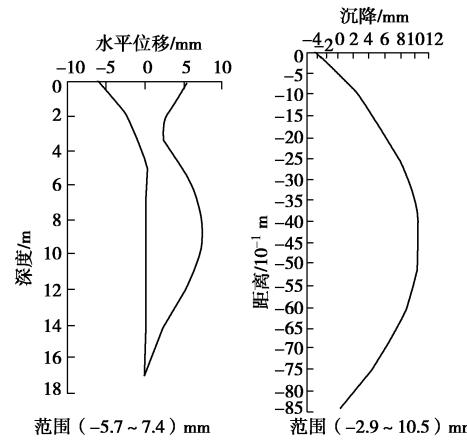


图 9 理论计算水平位移和沉降

Fig. 9 Lateral displacement and settlement of theoretical calculation

监测结果表明基坑在开挖和运行过程中处于稳定状态, 对北侧建筑物影响小, 设计方案达到预期效果, 满足设计要求。

5 结语

在基坑设计中, 较少遇到施工工作面狭小 (柱基

础至地下室外墙约 0.66 m)、周边建筑物对基坑位移敏感(柱基础和精密激光仪器)的基坑工程支护设计,至于永久性基坑支护设计更是少之又少,很难找到类似工程以借鉴,这给基坑设计工作带来很大困难。

本文通过某周边环境复杂条件下的永久性基坑工程设计实践,详细探讨了工作面狭小和永久性基坑支护工程的处理办法:通过采用方形支护桩、将锚杆设置在支护桩上节约设置腰梁空间的办法解决施工工作面狭小的问题;通过设置压力分散型锚杆及锚头部位设置混凝土罩(砼罩内设置箍筋、表面涂水泥基渗透结晶型防水涂料)的方法解决永久性支护问题。第三方监测的基坑水平位移和沉降较小,说明该基坑设计合理,可为类似工程提供参考。

参考文献:

- [1] 叶朝汉,袁聚云,徐枫,等.应变局部变化理论在基坑设计中的应用[J].岩土工程学报,2006,28(增刊):1425-1427. (YE Chao-han, YUAN Ju-yun, XU Feng, et al. Application of strain localization theory in foundation pit design[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2006, 28(S0): 1425 - 1427. (in Chinese))
- [2] 安关峰,宋二祥,高俊岳.广州地铁小谷围岛站基坑支护设计与监测分析[J].岩土力学,2006,27(2):317-322. (AN Guan-feng, SONG Er-xiang, GAO Jun-yue. Foundation pit supporting design and supervision of Xiaoguweidao metro station in Guangzhou, 2006, 27(2): 317 - 322. (in Chinese))
- [3] 曾进群,杨光华,蔡晓英,等.复杂环境下多种支护型式共用的基坑设计实例[J].岩土工程学报,2006,28(增刊):1573-1576. (ZENG Jin-qun, YANG Guang-hua, CAI Xiao-ying, et al. Design of foundation excavations with complex surroundings by use of many types of retaining and protection[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2006, 28(S0): 1573 - 1576. (in Chinese))
- [4] JGJ 120—99 建筑基坑支护技术规程[S]. (JGJ 120—99 Technical specification for retaining and protection of building foundation excavations[S]. (in Chinese))
- [5] DB11/489—2007 建筑基坑支护技术规程[S]. (JGJ 11/489—2007 Technical specification for retaining and protection of building foundation excavations[S]. (in Chinese))
- [6] CECS 22:2005 岩土锚杆(索)技术规程[S]. (CECS 22:2005 Technical specification for ground anchors[S]. (in Chinese))

(本文责编 明经平)