

# 某大厦深基坑支护工程设计实例

卓志飞, 付文光, 周焕杰, 冯申铎, 周 凯

(中国京冶工程技术有限公司深圳分公司, 广东 深圳 518054)

**摘 要:** 以深圳太平金融大厦深基坑工程为背景分析了圆环内撑、格构式对撑及角撑+对撑的支护结构特点, 最终选用了桩+角撑+对撑+南侧挖通放坡+大间距立柱的桩撑支护结构, 节省了工程造价和工期。地下室换撑采用了不常用的换撑梁换撑, 利于地下室外墙防水施工和预留空间回填, 也节约了工期。实施和监测结果表明, 整个施工过程达到了安全可控的目标, 较好的保护了工程环境, 为以后的类似工程设计提供了参考。

**关键词:** 深基坑; 环撑; 对撑; 立柱; 挖通放坡; 换撑; 工期; 造价

**中图分类号:** TU473

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-4548(2012)S0-0687-05

**作者简介:** 卓志飞(1981-), 男, 湖南张家界人, 硕士, 工程师, 主要从事岩土工程设计和施工等方面工作。E-mail: 34312680@qq.com。

## Design example of deep excavation of a high-rise building

ZHUO Zhi-fei, FU Weng-guang, ZHOU Huan-jie, FENG Shen-duo, ZHOU Kai

(China Jingye Engineering Corporation Limited of Shenzhen Branch, Shenzhen 518054, China)

**Abstract:** Different retaining structures are analyzed for the deep excavation of Taiping Financial Center in Shenzhen, that is, circular bracing, lattice bracing and opposite bracing + gusset bracing. Finally the bracing structure of pile + gusset + support + south slope + large spacing vertical pile is selected. The project cost and construction time are saved. The beam of bracing replacement is adopted in the bracing replacement. It is in favor of waterproof construction of basement wall and filling of reserve space, and the construction time is also saved. The monitoring results indicate that the procedure of construction is safe and the deformation of the surrounding facilities is under control. These solutions may provide good reference for the design of future similar projects.

**Key words:** deep excavation; circular bracing; opposite bracing; soldier pile; excavation slope; bracing replacement; construction time; construction cost

## 1 工程概况

拟建的太平金融大厦地上47层、地下4层, 高度约220 m, 为超高层/金融办公建筑物, 基坑周长约310 m, 原始地面标高约8.0 m, 基坑底标高-12.7 m, 基坑开挖深度约20.7 m。

工程场位于深圳市福田区B203-0022地块, 鹏程二路以东、福中三路以南, 益田路以西、深南大道以北。本工程离深圳市政府不到100 m, 基坑北侧为已建好的荣超金荣大厦, 东侧为在建广深港高铁, 南侧为南方博时基金地块, 西侧为在建深圳证券交易所营运中心大楼。基坑周边有给水管、污水管、雨水管、电缆沟、电力管及煤气管道等多种市政管线, 特别基坑东侧煤所气管线离基坑较近, 埋深约6~7 m。基坑周边环境如图1所示。

### 2.1 工程地质

根据现场钻探揭露及室内土工试验结果, 场地内分布的地层为人工填土层( $Q^{ml}$ )、第四系全新统冲洪积层( $Q_4^{al+pl}$ )、第四系上更新统冲洪积层( $Q_3^{al+pl}$ )、第四系残积层( $Q^{el}$ ), 下伏基岩为燕山期粗粒花岗岩( $\gamma_5^3$ )。各土层物理力学参数详见表1。

### 2.2 水文地质

场地内主要含水层有两类: 一类为第四系全新统冲洪积粉砂层、有机质粉砂层及第四系上更新统冲洪积粗砂层, 其含水性、透水性较强, 赋存于其中的地下水为孔隙潜水, 具微承压性; 另一类为强风化、中风化粗粒花岗岩, 其含水率、透水性主要受地层裂隙发育程度控制, 赋存于其中的地下水为基岩裂隙水, 亦具微承压性; 其它地层均为弱含水、弱透水性土层。

## 2 地质概况

或相对隔水层。稳定水位埋深 4.50~8.10 m。

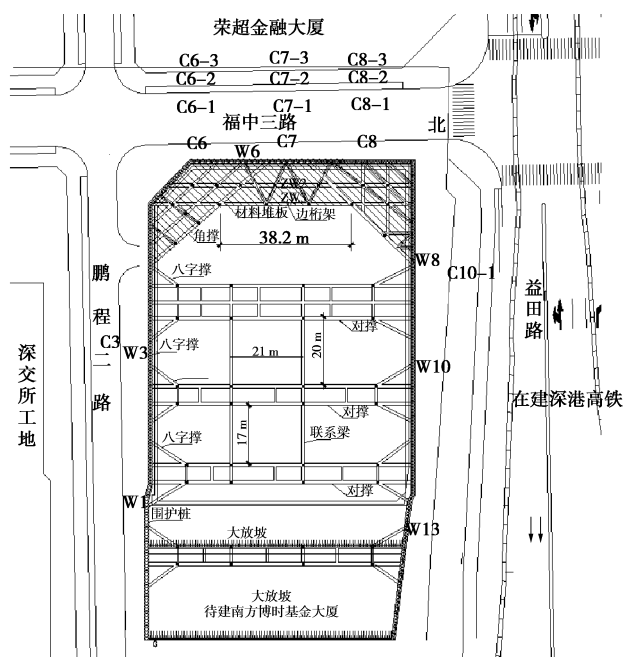


图 1 基坑总平面图

Fig. 1 Plan of excavation

表 1 各土层物理力学参数

Table 1 Physical and mechanical properties of soil layers

土层名称	层厚 /m	重度 $\gamma$ /( $\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$ )	内摩擦角 $\varphi$ /( $^{\circ}$ )	凝聚力 $c$ /kPa
人工填土	3	18.4	12	6
粉质黏土	2	18.3	12	12
粉砂	4	18.7	13	10
有机质砂	3	18.2	8	8
粗砂	4.0	19.8	27	0
砾质黏性土	8	18.5	20	22
全风化花岗岩	5.5	19.5	25	30
强风化花岗岩		20.0	32	28

3 基坑支护总体设计方案

3.1 设计方案选型

本基坑地处深圳市中心区，开挖超深，工期紧，周边环境保护要求较高，需选择一种设计进度快而且有成熟经验的基坑支护方案。根据工程经验及深圳市地区常用的设计,对桩撑和桩锚方案进行了对比分析，基坑东侧如果使用锚杆，因基坑深度达 20.7 m，锚杆长度要超过 30 m，进入广东深港高铁范围，显然不可行。即使长度不足 25 m，也不行。根据高铁公司相关规定，高铁公司不允许周边范围 3 m 内施工锚杆；此外，基坑东侧红线外管线密集，锚杆很难避开，施工风险太大，故锚杆在东侧不可能实施。故可能采取的方案只有桩撑方案，根据现场情况在方案比选中可采用三种支撑布置形式，分别为圆环支撑系统、格构

式对撑及东西向对撑+角撑+南侧放坡支撑系统，分别如图 2、图 3、图 1 所示。由于钢支撑截面抗压承载力有限，且支撑刚度较小，不利于控制基坑变形和保护周边环境，故本基坑不用钢支撑做为内支撑，支撑采用钢筋混凝土支撑<sup>[1]</sup>。3 种支撑体系从结构受力以及变形控制的角度来看均是可行的，各有其特点：①圆环支撑可使坑内形成较大面积的无支撑作业平面，支撑构件能大部分避开塔楼区域的核心筒和劲性柱，有利于加快主楼的结构施工速度和方便土方开挖，但圆环支撑土方开挖必须对称、平衡进行，待每道支撑全部形成并达到设计强度后才可开挖下层土体，挖土要求高，施工难度大，其还需专门在坑内设置土坡道，难度极大，且并不能将塔楼全部暴露出来，对总工期而言并无明显优势；②格构式对撑+角撑支撑体系，通过调整对撑和角撑的位置，可以完全避开塔楼劲性柱，其受力明确，刚度大，变形小，利于周边环境保护，但其土方开挖同环撑一样，需设置专门的土方坡道，施工难度很大；③东西向对撑+北侧角撑+南侧大放坡支护体系，其同样通过调整对撑和角撑的位置可以完全避开塔楼劲性柱，但放坡需与南侧南方博时基金甲方商量。其受力明确，控制变形能力强，同时其土方开挖可由北到南分片进行，不需等到每层内支撑全部施工完毕后才开挖，且可以在南侧放坡边坡上设置施工土坡道，土方车及材料车等可以直接进入坑内，到达指定位置，减小二次运输，最为重要的是南侧挖通，减少了一排围护桩，对太平金融大厦和南方博时基金大厦甲方而言都大大的降低了工程造价。

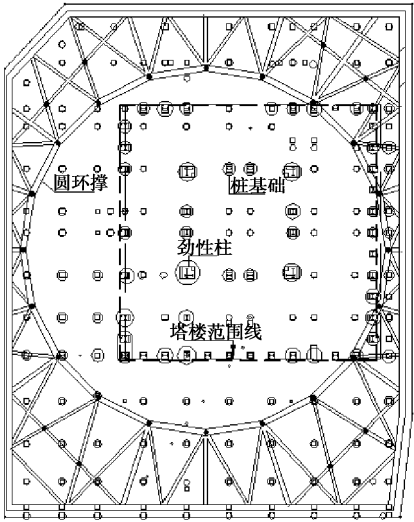


图 2 圆形支撑体系示意图

Fig. 2 Plan of circular bracing

综上所述，经过对比分析，并与南方博时基金甲方商量确定，最终采用东西向对撑+北侧角撑+南侧大放坡支护体系，周边围护结构采用旋挖灌注桩+三重

管旋喷桩止水帷幕, 坑内设置三层对撑+角撑钢筋混凝土水平支撑系统, 南侧分两级放坡开挖, 北侧角撑第一层水平支撑上加板做为材料堆场和加工场地。基坑典型剖面图见图 4, 基坑施工的现场情况如图 5。

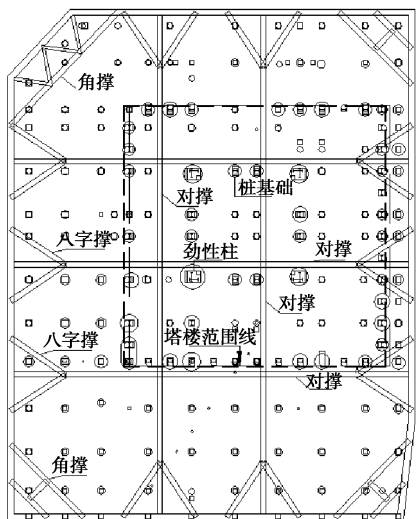


图 3 格构式对撑体系示意图

Fig. 3 Plan of lattice bracing

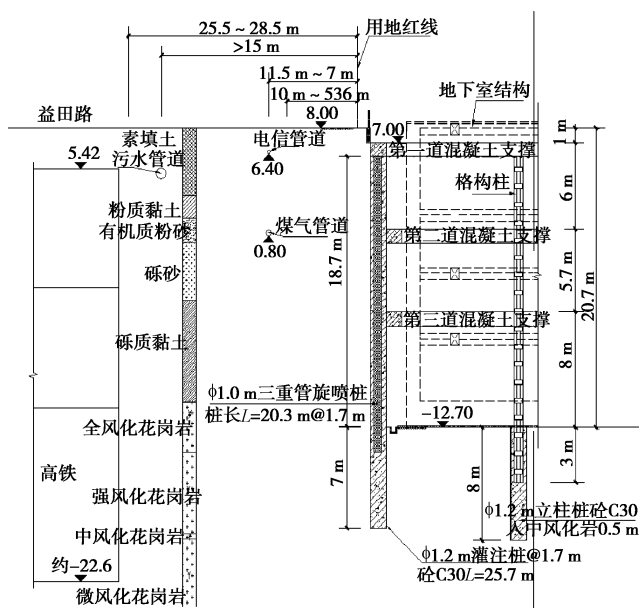


图 4 基坑支护典型剖面图

Fig. 4 Typical section of retaining structures

### 3.2 本设计方案特点和优点

(1) 造价节省约 600 万元: ①与南方博时基金大厦基坑挖通, 对两方而言可各省掉一排围护桩, 共节约造价约 500 万元; ②土坡道设置于南方博时基金地块放坡侧, 土方、材料车在基坑开挖阶段和主体桩基础施工阶段都可以直接进入坑内, 减少的材料的二次运输, 大大降低了措施费, 包括不用专门设置坡道, 约节约工程造价约 100 万元。

(2) 节约工期约 2 个月: ①北部角撑和东西向

对撑, 把基坑分成四块, 内支撑和土方开挖均可以分块施工, 土方开挖无需待所有支撑梁达到设计强度后才能施工, 支撑与土方开挖可搭接交叉施工, 可节约工期 1 个月; ②同时主体施工与拆撑也可以分片进行, 无需待每层楼层施工完毕并换撑完成后才可以施工上层主体, 主体地下室可以由北往南分片施工, 可节约工期 1 个月。

(3) 对撑下立柱间距最大约 21 m, 在国内属于领先水平: 规范规定的立柱间距宜为 12~16 m, 本工程根据设计计算结果和考虑到施工的便利性, 立柱间距设置大于规范要求, 并获得成功, 对今后的设计有重要参考价值。

(4) 北侧角撑部位采用了跨度 38.2 m 的边桁架内撑, 边桁架内撑设置减小了角撑的根数和对主体塔楼的影响: 常规的设计只采用一根横梁作为边桁架主要受力构件, 本设计采用两根横梁做为边桁架主要受力构件, 大大加强了边桁架的整体性和刚度, 利于减小基坑的变形。

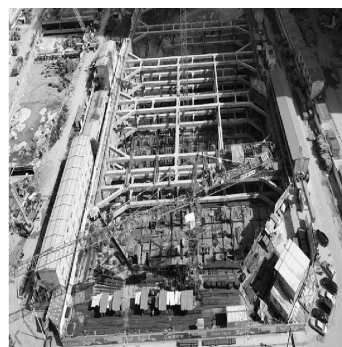


图 5 基坑现场实拍照片

Fig. 5 Photo of excavation

## 4 换撑设计

常规的换撑方法一般为地下室施工一层回填一层, 并在地下室楼板处填充素砼, 此种方法造价相对较低, 但分层回填施工工期较长, 且地下室外墙防水难以整体施工。经多方案比较, 最终本工程换撑结构采用加设混凝土换撑梁、板结构的方式, 将支撑梁的应力转移到地下室结构体, 各换撑梁、板结构随相邻外墙、底板混凝土结构施工。

图 6 是地下室底板换撑较为常规的方法, 采用换撑板换撑, 沿地下室底板北侧、西侧、东侧全长采用 400 厚 C30 素砼浇筑并浇至支护桩边, 由于此换撑板带仅承受压力, 无需配筋。图 7, 8 为地下室楼板换撑方法, 在负 3 层、负 2 层、负 1 层楼面标高处采用换撑梁进行换撑, 换撑梁截面尺寸为 400 mm×400 mm, 间距 1700 mm, 混凝土强度等级为 C35; 在地下室外墙内各层换撑梁标高处设置附加暗梁, 暗梁 600 mm,

与外墙墙宽同,暗梁沿地下室北侧、西侧、东侧外墙身全长布置。

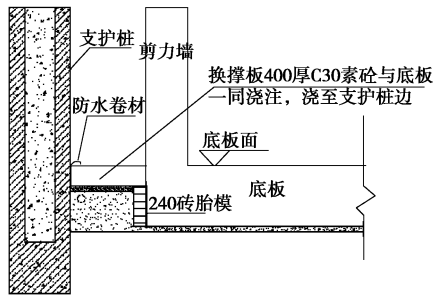


图 6 地下室底板换撑示意图

Fig. 6 Section of bracing replacement of basement motherboard

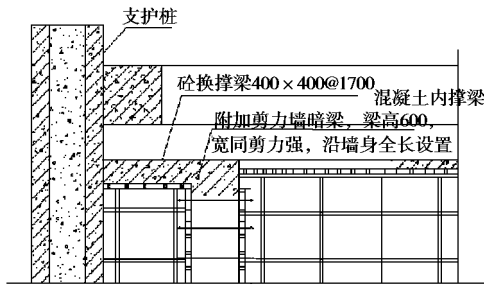


图 7 地下室楼板换撑剖面示意图

Fig. 7 Section of bracing replacement of basement layer

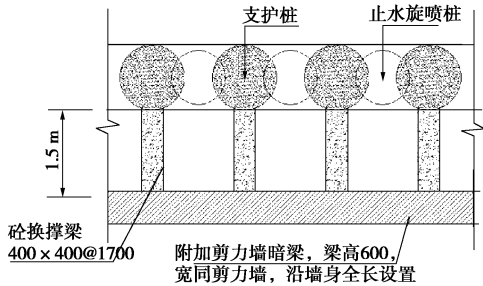


图 8 地下室楼板换撑平面示意图

Fig. 8 Plan of bracing replacement of basement layer

5 基坑的监测

5.1 施工工况

本基坑工程位于深圳市中心区,其开挖深度超深,规模大、难度高、周边环境复杂,从正式基坑开挖到地下室回填,历经 18 个月,基坑使用时间较长。本基坑开挖及回填共分为 9 个工况:①工况 1,开挖第一层土,施工第一道支撑;②工况 2,开挖第二层土,施工第二道支撑;③工况 3,开挖第三层土,施工第三道支撑;④工况 4,基坑开挖到底,并施工桩基础;⑤工况 5,施工地下室底板,并进行底板换撑施工;⑥工况 6,施工地下四层和地下室楼板结构及换撑;⑦拆除第三道支撑,施工地下三层结构和地下二层楼板及换撑;⑧拆除第二道支撑,施工地下二层结构和地下一层楼板及换撑;⑨拆除第一道支撑,施工

地下一层结构,并回填地下室预留空间。

5.2 监测内容

本工程进行了如内容监测:桩顶位移、桩身测斜、地面和支撑沉降、支撑系统应力、地下水位等。

5.3 监测结果与分析

从图 9 可以看出,内支撑有效地控制了桩顶位移,桩顶最大位移不超过 18 mm,远小于参考文献[2]要求的 30 mm。

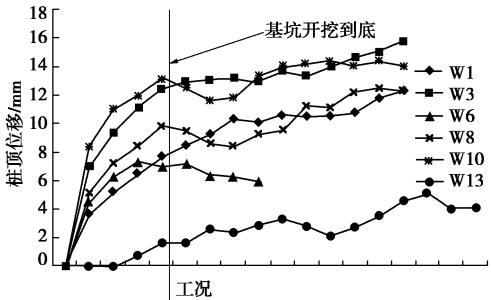


图 9 基坑桩顶位移曲线

Fig. 9 Curves of displacement of pile

根据桩身深层测斜数据,桩身最大位移约为 15~30 mm,小于设计计算最大值 44 mm;图 10 是深层位移最大桩的测斜数据变化曲线,此点位于基坑东部,随着基坑开挖的加深,围护桩侧向位移在不断地加大,且侧向位移最大点不断下移,直到挖到基坑底后,变化趋缓,位移最大值大约 30 mm,位移最大点在的 0.55 倍桩长处,位置基本与设计相符。

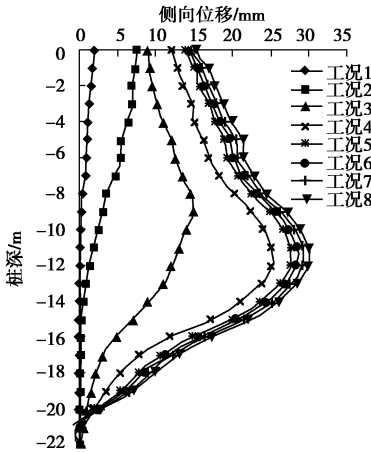


图 10 桩身侧向位移

Fig. 10 Lateral displacements of retaining structures

图 11 为基坑沉降曲线,基坑沉降最大位置位于基坑北侧,最大沉降约为 56 mm,沉降超过参考文献[3]控制要求,根据现场观察结果,荣超金融大厦的花池有局部开裂的现场,其离基坑约 40 m。沉降值偏大和开裂的原因可能为:①本基坑开挖引起的环境变化,局部有失水现象;②高铁在荣超金融大厦东侧挖了较大的降水井大面积降水;③基坑北侧为交通要道,每日大量车辆碾压及震动。

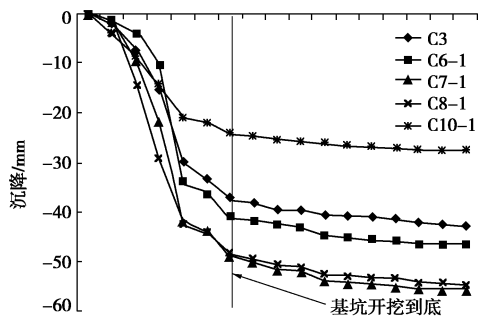


图 11 基坑沉降曲线

Fig. 11 Curves of settlement of excavation

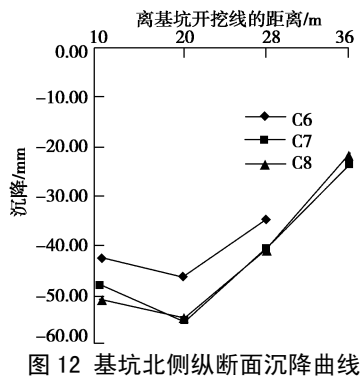


图 12 基坑北侧纵断面沉降曲线

Fig. 12 Curves of settlement on north profile of excavation

图 12 是基坑北侧纵断面沉降曲线图, 根据曲线图可以看出, 离基坑 20 m 的距离即 1 倍基坑深度距离, 基坑沉降达到最大值, 根据曲线趋势, 基坑开挖影响的沉降范围可能超过 2 倍基坑深度。根据曲线的形状来看, 类似于指数曲线<sup>[3]</sup>。根据侧斜结果, 基坑北侧桩身最大位移约 20 mm, 沉降最大的位置并不对应桩身位移最大的位置, 由此可以推断北侧沉降过大的原因与外界因素关系较大。

北侧边桁架三层内撑均进行了位移监测, 监测结果如图 13 所示, 其中前面的 1、2、3 代表第一、二、三层内撑。从监测结果可以看出, 在基坑挖到底后, 各层内支撑位移达到最大值, 其中第一层内支撑位移最大, 约 4.6 mm, 随着地下室的施工和换撑, 内支撑的位移回弹变小。与支护桩深层位移数据不同, 支护桩深层位移并没有随地下室换撑缩小, 而是略有增大, 原因可能为: ①地下室只进行换撑, 没有回填, 坑外土传给桩身的应力没有变化; ②基坑开挖后, 桩后土塑性变形不可恢复, 桩身位移受桩后土限制也难恢复; ③随着换撑的进行, 部分内力分配到地下室底板和层板, 支撑的内力减小, 由于钢筋砼梁是弹塑性体, 故其内力减小, 位移也减小。

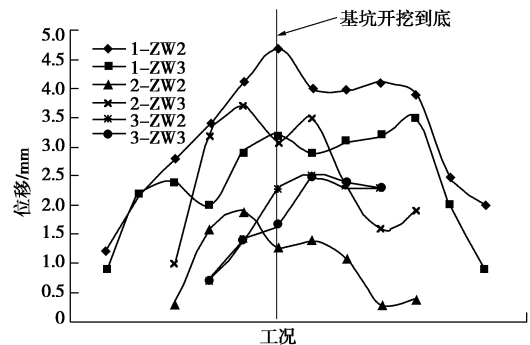


图 13 基坑北侧边桁架位移曲线

Fig. 13 Curves of displacement of side trusses at north side of excavation

## 6 结 论

(1) 以深圳太平金融大厦深基坑工程为背景分析了圆环内撑、格构式对撑及角撑+对撑的支护结构特点, 最终选用了桩+角撑+对撑+南侧挖通放坡的桩撑支护结构, 大大地节省了工程造价和工期, 为后期的主体施工提供了极大的方便。

(2) 地下换撑设计采用了不常用的换撑梁换撑, 取得了良好的效果, 利于地下室外墙防水施工和预留空间回填, 并节约了工期。

(3) 目前该工程地下室已经回填, 监测结果表明, 整个施工过程达到了安全可控的目标, 较好地保护了周边环境, 为主体结构的施工创造良好的条件, 可为以后的类似工程设计施工提供参考。

## 参考文献:

- [1] 黄炳德, 翁其平, 王卫东. 某大厦深基坑的设计与实践[J]. 岩土工程报, 2010, 32(增刊 1): 363 - 369. (HUANG Bing-de, WENG Qi-ping, WANG Wei-dong. Design and application of deep foundation pit of a project[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2010, 32(S1): 363 - 369. (in Chinese))
- [2] SJG05—2011 深圳市基坑支护技术规程[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2011. (SJG05—2011 Technical code for retaining and protection of excavation in Shenzhen city[S]. Beijing: China Architecture and Building Press, 2011. (in Chinese))
- [3] 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. (LIU Guo-bin, WANG Wei-dong. Excavation engineering handbook[M]. 2nd ed. Beijing: China Architecture and Building Press, 2009. (in Chinese))

(本文责编 明经平)