

# 某大型软土深基坑围护中多种支护技术的优化组合

杜常春, 周喜锋, 焦德智

(浙江省工程勘察院, 浙江 宁波 315012)

**摘要:**根据基坑的地质条件、环境条件、基坑开挖深度等特点综合考虑,通过方案的对比、论证,采用了“深坑”化两道“浅坑”的设计思路,上坑采用复合土钉支护,下坑采用钻孔灌注桩加一道环形钢筋混凝土水平内支撑支护。该基坑工程所采用的多种支护技术的优化组合方案,安全可靠,经济合理,可为本地区同类超 10.0 m 深基坑工程设计提供借鉴。

**关键词:**软土地基;深基坑;“深坑”化“浅坑”;多种支护技术;优化组合

**中图分类号:**TU46<sup>+</sup>3 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2009)05-0059-04

**Application of Optimal Combination of Multiple Support Techniques in a Large Deep Foundation Pit Support in Soft Ground/DU Chang-chun, ZHOU Xi-feng, JIAO De-zhi** (Zhejiang Engineering Prospecting Institute, Ningbo Zhejiang 315012, China)

**Abstract:** Based on the geological condition, environmental condition, and the depth of excavation, by comparison and demonstration on the schemes, the design of one ‘deep foundation pit’ was changed into tow ‘shallow foundation pits’. The upper foundation pit was constructed with the composite support plan; the lower part was supported with bored grouting pile and an annular horizontal inner bracing reinforcement with concrete. This optimal combination of multiple support techniques was proved safe and economical, could be the reference to the similar design of ultra 10.0m depth excavations in the same area.

**Key words:** soft ground; deep foundation pit; ‘deep foundation pit’ changed to ‘shallow foundation pit’; multiple support techniques; optimal combination

20世纪90年代以来,高层建筑如雨后春笋般迅速发展,为了保证高层建筑物的稳定性,建筑基础都必须满足地下埋深嵌固的要求。建筑高度越高,其埋置深度也就越深,对基坑工程的设计、施工要求也就越高,这促进了基坑支护和施工技术的更新、进步与发展,各种深基坑的支护技术也日渐完善。根据地质条件、周边环境的各异以及地区经验,深基坑支护技术也不尽相同,而每一种技术都有其独特的优点,多种支护技术的优化组合是深大基坑支护技术发展的必然趋势,其安全可靠,经济合理,符合当今节约资源、提高经济效益、可持续发展的科学发展观。

## 1 工程概况

浙江嘉兴某高档大酒店为钢筋混凝土筒体结构,地上41层,总高度168m,地下2层,由五星级酒店、酒店式公寓以及配套服务设施组成。建成后不仅将成为嘉兴的标志性建筑,也将成为浙北第一

高楼。地下室平面尺寸82.0m×87.0m,基坑深度裙楼为10.85m(局部11.55、11.75、11.85m)、主楼约12.45m(局部13.45m)。工程场地南侧80.0m左右为城市快速干道线,东侧紧邻规划道路(现施工便道),西、北两侧30.0m左右为新建的商贸城。

根据现场地质勘察结果,在基坑开挖深度及影响范围内,主要地基土的组成自上而下为:

①松散素填土;

②可塑粉质粘土, $c = 25 \text{ kPa}$ ,  $\varphi = 9^\circ$ ,  $\gamma = 19.4 \text{ kN/m}^3$ ,  $k = 2 \times 10^{-7} \text{ cm/s}$ ;

③流塑淤泥质粉质粘土, $c = 14 \text{ kPa}$ ,  $\varphi = 10^\circ$ ,  $\gamma = 18.1 \text{ kN/m}^3$ ,  $k = 5.5 \times 10^{-7} \text{ cm/s}$ ;

④<sub>1</sub>可塑粘土, $c = 36 \text{ kPa}$ ,  $\varphi = 16^\circ$ ,  $\gamma = 19.7 \text{ kN/m}^3$ ,  $k = 1.5 \times 10^{-7} \text{ cm/s}$ ;

④<sub>2</sub>可塑粉质粘土, $c = 28 \text{ kPa}$ ,  $\varphi = 15^\circ$ ,  $\gamma = 19.0 \text{ kN/m}^3$ ,  $k = 6.0 \times 10^{-7} \text{ cm/s}$ ;

④<sub>3</sub>中密砂质粉土, $c = 10 \text{ kPa}$ ,  $\varphi = 31^\circ$ ,  $\gamma = 19.5$

收稿日期:2008-12-31; 改回日期:2009-02-26

**作者简介:**杜常春(1974-),男(汉族),四川广安人,浙江省工程勘察院注册岩土工程师,水文地质与工程地质专业,从事岩土工程勘察、设计及咨询工作,浙江省宁波市宝善路206号,zgkdec@21cn.com;周喜锋(1978-),男(汉族),河南南阳人,浙江省工程勘察院助理工程师,地籍测量与土地管理专业,从事工程测量及岩土工程监测工作;焦德智(1976-),男(汉族),山东东营人,浙江省工程勘察院工程师,水文地质与工程地质专业,从事岩土工程勘察、设计及咨询工作。

$\text{kN/m}^3, k = 2.4 \times 10^{-4} \text{ cm/s};$

⑤软塑粉质粘土,  $c = 20 \text{ kPa}, \varphi = 11^\circ, \gamma = 18.9 \text{ kN/m}^3, k = 5.5 \times 10^{-5} \text{ cm/s};$

⑥硬塑粘土,  $c = 42 \text{ kPa}, \varphi = 17^\circ, \gamma = 20.1 \text{ kN/m}^3, k = 4.3 \times 10^{-7} \text{ cm/s}。$

场地地下潜水位稳定埋深在 1.00 m 左右;④<sub>3</sub>层砂质粉土微承压水水头高度在 7.0 m 左右,现场抽水试验其渗透系数  $k = 2.4 \times 10^{-4} \text{ cm/s}。$

## 2 支护方案优化选择

### 2.1 基坑支护方案原则

(1)技术可行。基坑支护方案选择必须根据场地地质、周围环境和主体建筑设计等各项要求,不仅要保证深基坑开挖与支护能够实现,而且为主体结构施工创造必要条件。

(2)安全可靠。基坑支护设计除保证本工程的安全施工外,还必须保证相邻建(构)筑物的安全及正常使用。

(3)造价低廉,缩短工期。在保证技术可行、安全可靠的条件下,尽量优化方案,节约工程费用,加快施工进度。

(4)因地制宜、区别对待。由于基坑工程具有很大的经验性,其本构模型还存在局限性,支护方案须结合周边地质及环境条件,参考地区经验从实际出发,区别对待。

### 2.2 基坑支护方案比较与优化选择

根据本基坑工程的规模、开挖深度、工程地质及水文地质条件、环境条件,一般可供选择的围护方案大体有地下连续墙、钻孔咬合桩、止水帷幕+钻孔灌注桩3种。

支撑体系是承受围护结构所传递的土压力和水压力的结构体系,与竖向围护结构共同为基坑施工提供一个可靠的结构空间,主要有拉锚体系与内支撑体系2种。本基坑工程地基土层交错分布有2层软土层,由于软土具有高触变性、高流变性等特点,根据拉锚的锚固原理,其不宜在本软土深基坑工程中使用,故本工程宜选择内支撑体系。内支撑体系有内钢筋混凝土支撑和内钢管支撑,内钢筋混凝土支撑现场浇筑,可根据施工需要和受力情况任意浇筑,且整体性好,可靠度高,节点容易处理,经济性也较好。众所周知,环形内支撑结构的受压性能较好,可充分利用钢筋混凝土抗压强度高的材料性能,而且环梁具有自动平衡轴向压力的作用。故本次内支撑优先选择钢筋混凝土环形桁架水平支撑。

根据本基坑工程的特点及地质与环境条件,结合地区经验,一般可供选择的基坑支护方案主要有以下3种。

第一种方案为地下连续墙+两道钢筋混凝土环形桁架水平支撑。该方案造价是最高的,对于本基坑工程明显是不经济的。

第二种方案为钻孔咬合桩+两道钢筋混凝土环形桁架水平支撑。该方案在本地区常用,但造价偏高,对于本基坑工程显得不够经济。

第三种方案为水泥土止水帷幕+钻孔灌注桩+两道钢筋混凝土环形桁架水平支撑。该方案在本地区常用,造价较第二方案更经济。

考虑到本工程基坑周边环境比较宽松,且地基土层交错分布有强度较高的粘性土与粉性土,经周密论证与对比,最终采用“深基坑”化“浅基坑”的设计思路,多种支护技术优化组合的方案。即在基坑周边大面积卸出一定深度与宽度的土体,将原“深基坑”转化成上下2道“浅坑”。“上道坑”支护采用水泥土挡土墙(兼止水帷幕)+多道土钉的复合土钉支护技术;“下道坑”支护采用水泥土止水帷幕+钻孔灌注桩+一道环形钢筋混凝土内支撑的支护技术。

## 3 方案设计

该支护方案的技术核心问题就是上道坑卸土的深度与宽度的确定,以及2种不同的围护结构共同作用的问题。在设计过程中采用了有限元方法辅助规范方法验算,计算确定卸土宽度为 7.5 m,卸土深度为 5.3 m(至④<sub>1</sub>层粘土顶板),能够保证基坑的稳定性。则基坑深度由原来的 10.85~13.45 m 减少到 5.3 m 与 5.55~7.15 m 的两道基坑。

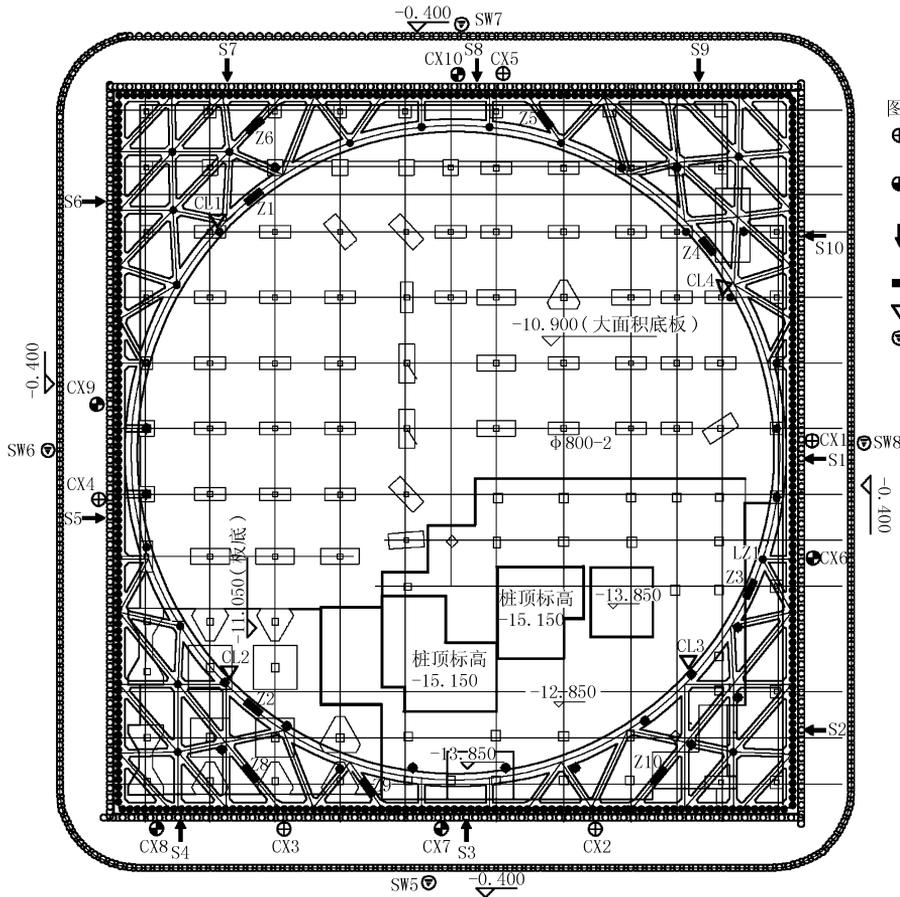
### 3.1 支护结构设计

上道 5.3 m 的浅坑采用  $\text{Ø}850@600$  的三轴水泥搅拌桩挡土墙(兼止水帷幕),桩长 10.1 m,施工机具选择三轴型钻掘搅拌机;沿竖直方向设置 4 排  $\text{Ø}48 \times 3.0$  的钢管作为土钉,水平间距 1.2 m,竖直间距 1.1 m,梅花形布置,面层 100 mm 厚喷射 C20 细石砼,内配直径 6.5 mm、间距 200 mm  $\times$  200 mm 双向钢筋网片。

下道坑采用止水帷幕+钻孔灌注桩+一道环形钢筋混凝土内支撑的方案。止水帷幕采用  $\text{Ø}850@600$  的三轴水泥搅拌桩,桩长 13.0 m,施工机具选择三轴型钻掘搅拌机;围护排桩采用  $\text{Ø}750@900$  钻孔灌注桩,混凝土强度等级 C30(水下),桩长按不同基坑深度为 14.15、12.75、13.45、13.55、11.55 m,在桩

顶位置浇注钢筋砼冠梁。内支撑采用一道钢筋混凝土环形桁架水平支撑。冠梁截面为1400 mm × 1000 mm、环梁截面为1600 mm × 1000 mm、支撑梁截面为

700 mm × 800 mm、联系梁截面为600 mm × 600 mm，混凝土强度等级C30。基坑支护平面见图1，支护剖面见图2。



- 图例：
- ⊕ CX1 ~ CX5: 深层土体位移监测斜孔
  - ⊙ CX6 ~ CX10: 围护墙体土体位移监测斜孔
  - ↓ S1 ~ S10: 围护桩顶水平位移及竖向位移
  - Z1 ~ Z10: 支撑轴力监测点
  - ▽ CL1 ~ CL4: 立柱沉降监测点
  - ⊙ SW5 ~ SW8: 坑外水位观测孔

图1 基坑支护、监测平面图

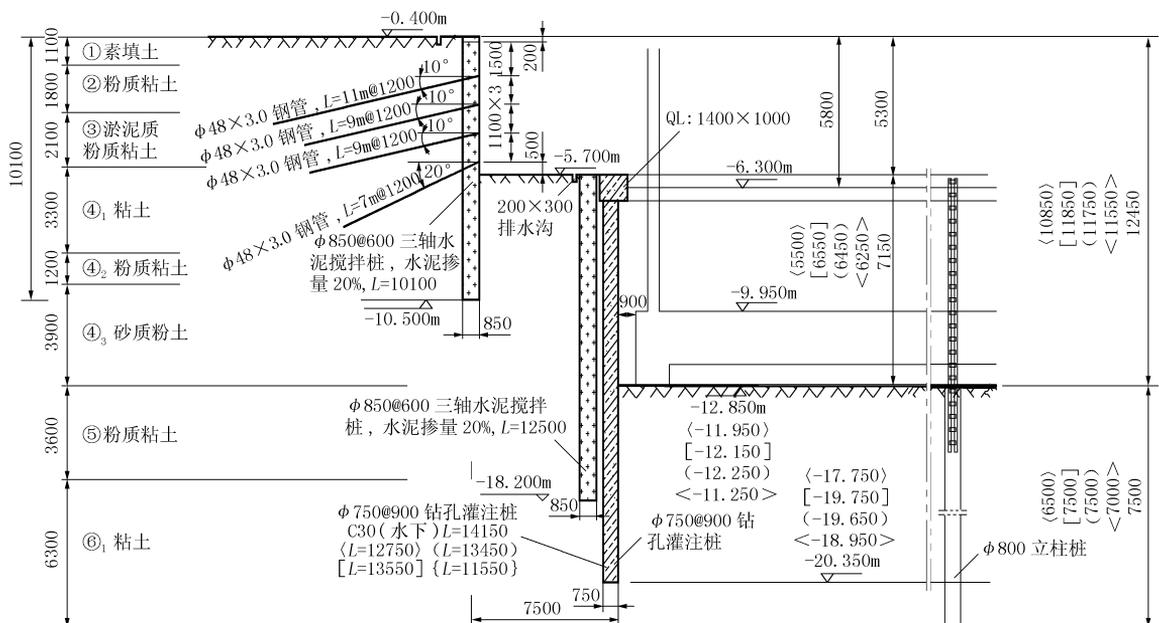


图2 基坑支护剖面图

### 3.2 降排水设计

由于坑底位于微承压水较为丰富的④<sub>3</sub>层砂质粉土中,基坑采用管井降水措施,管井布置每300 m<sup>2</sup>一套,坑内均匀布置25套,同时在坑内外设置排水明沟或盲沟,及时排出坑内外积水及地表水。

## 4 基坑监测及分析

在基坑开挖至2008年11月20日为止对基坑进行了监测(前期做了埋管、埋点及应力监测计设置等工作),监测内容主要包括深层土体位移测斜监测、围护墙体位移监测、围护桩顶水平位移及竖向位移监测、支撑轴力监测、立柱沉降观测、坑内、外地下水水位观测,监测点布置见图1。

检测结果表明,随着开挖深度的增加,围护结构、边坡土体位移及支撑轴力均有所上升,这主要是坑内土体挖出后,围护桩体坑内位移,引起侧压力的增加。

深层土体位移监测结果显示,测斜孔CX2、CX3顶部位移累计较大,但都在安全值之内;围护墙体位移监测孔CX7顶部累计位移在水平支撑拆除后(10月31日)的11月12日超过警戒值(45.0 mm),次日达到51.64 mm(见图3),基坑南侧上下坡道的平台上出现约5.0~8.0 mm的平行于基坑的裂缝。究其缘由主要有3点:

(1)南面CX2、CX7、CX3附近基坑开挖深度大,电梯井坑深可达15.0 m,作用于围护结构上的土压力相对较大;

(2)基坑南侧为钢筋堆场,出土栈桥设置在CX3附近,大面积钢筋荷载以及较大的车辆荷载与动荷载,加载于南坡土体及围护结构上;

(3)塔吊布置于CX7附近的上下两道坡平台处,内支撑爆破拆除后,塔吊吊出混凝土残渣,装吊荷载大,故塔吊附近的基坑边坡水平变形更大,CX7顶部累计位移值曾一度超过警戒值。在减小塔吊装吊荷载后,CX7顶部累计位移处于收敛状态,并逐步恢复到警戒值以内。

轴力监测结果显示,环梁轴力监测Z2、Z3、Z4点在开挖接近设计标高时曾多次同时段超越警戒值(11700 kN),其原因主要是Z2点布置在西南角环梁上,Z3、Z4点布置在基坑东侧环梁上,而基坑南侧为钢筋堆场,且出土口在西南角,基坑东侧边坡紧邻施工便道,钢筋超载、土压力外加频繁的较大车辆超载作用在东南两侧的环梁上,导致其轴力增大。由于环梁具有自动调节轴力的功能,以及在调整土方

运输线路、在地下室底板与围护桩之间浇筑混凝土传力带等措施后,环梁轴力逐步恢复到警戒值以下,轴力监测点Z2变化曲线图见图4。

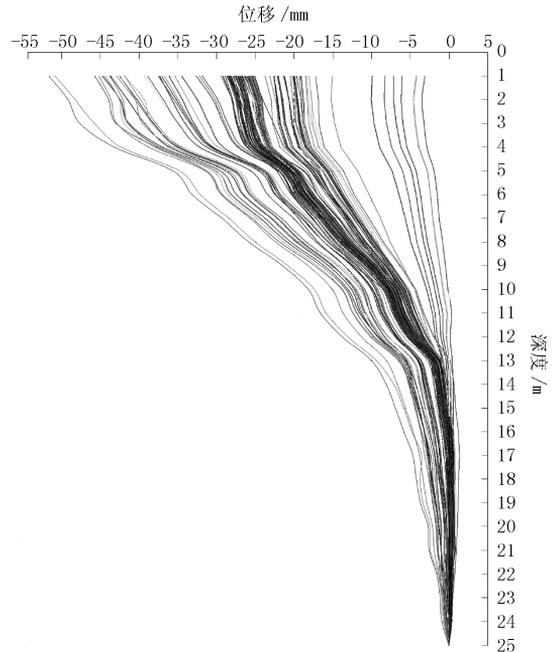


图3 CX7点的深度-位移曲线图

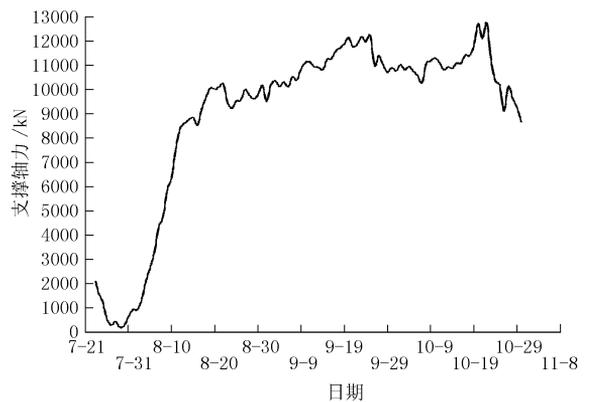


图4 Z2点支撑轴力变化曲线图

在3个多月的开挖施工期间,其它各监测点都在规范及设计容许范围内,总体来说基坑变形及支撑轴力主要有2个特点。

(1)随着基坑的开挖,基坑的变形与支撑轴力明显增大。

(2)基坑开挖深度较大以及地面超载较大的地段,基坑的变形与支撑轴力明显增大。

## 5 结语

(1)在深基坑工程中,基坑支护结构设计选型必须遵循安全、适用、经济的原则,各种各具特色的  
(下转第65页)

在孔内顺畅滑动,也解决了外径116 mm、厚15 mm锚垫板在70 m深钻孔孔壁上滑动(推进到孔底或退出到孔外)过程中,因刮孔壁造成堆积残渣越来越多而受阻的问题。

#### 4 施工工艺及操作方法

(1)采用 $\varnothing 89$  mm钻杆及 $\varnothing 150$  mm潜孔锤成孔结束并上钻;

(2)改用 $\varnothing 50$  mm钻杆,将70 m长 $14 \times 7\varnothing 5$ 锚索与键球式锚索置入器连接完毕并插入孔口;

(3)开动钻机将 $\varnothing 50$  mm钻杆与键球式锚索置入器花键连接,利用钻机加压力推进键球式锚索置入器,此时启动空气压缩机采用小风量,防止 $\varnothing 42$  mm钢管压缩空气通道阻塞,钻机压力适中,用6~8人调整锚索方向使其3 m内的锚索要对准孔位,循序渐进;

(4)当孔内出现坍塌、掉块及缩径问题时,用压缩空气配合键球式锚索置入器回转钻进;

(5)当孔内锚索需要拔出时,先提出 $\varnothing 50$  mm钻杆,然后在孔口处将 $14 \times 7\varnothing 5$ 锚索用夹扣夹紧牢固,用钻机提升锚索,每次可提升2~5 m;

(6)当孔内无问题时,可正常推进键球式锚索置入器至孔底,提升 $\varnothing 50$  mm钻杆与其分离,并用 $\varnothing 50$  mm钻杆注浆,注浆结束提出钻杆并清洗,成

孔、深孔多锚索安装与注浆结束。

#### 5 应用结果分析

(1)孔内锚索安装到位,缩短了安装锚索时间。本工程70 m长 $14 \times 7\varnothing 5$ 锚索178组,孔内安装每组锚索用1.5~2 h。

(2)解决了孔内注浆问题。用 $\varnothing 50$  mm钻杆代替注浆管,回避了原注浆管易折断、阻塞、被埋入孔内等问题,保证了注浆质量。

(3)满足了施工规范与设计的要求。经监理检查及预应力张拉试验结果表明,施工工艺满足规范和设计要求。

(4)降低了人力资源消耗。孔内安装1组 $14 \times 7\varnothing 5$ 锚索所需人力由原来30人,降到现在10人。

(5)提高了生产效率、缩短了工期、降低了生产成本,获得了较好的经济效益。

#### 6 结语

(1)本施工工艺从根本上解决了深孔多锚索安装与注浆问题。

(2)充分利用钻机自身具有的能力,淘汰了以往用人海战术处理该问题的施工方法。

(3)该工艺对灾害环境治理加固,全面实施设计目的,起到及其重要的关键性作用。

(上接第58页)

#### 参考文献:

- [1] Hewlett W J, Randolph M F. Analysis of Piled Embankment [J]. Ground Engineering, 1988, 21(3): 12-18.
- [2] Han J, Gabr M A. Numerical Analysis of Geosynthetic-reinforced and Pile-supported Earth Platforms over Soft Soil [J]. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 2002, 128(1): 44-53.

(上接第62页)

深基坑支护类型,它们各有优缺点,适用于不同地质条件和工程环境,而地质与环境条件是基坑选型的主要因素。

(2)本基坑工程依据地质及环境条件,采用了“深坑”化两道“浅坑”的设计思路,上道坑采用水泥土挡土墙(兼止水帷幕)+多道土钉的支护技术,下道坑采用水泥土止水帷幕+钻孔灌注桩+一道环形钢筋混凝土水平内支撑的优化组合方案,技术可行、安全可靠、经济合理,缩短了工期,可为本地区同类超10.0 m深基坑工程设计提供借鉴。

- [3] 郑俊杰,陈保国, Abusharar S W,等.双向增强体复合地基桩土应力比分析[J].华中科技大学学报(自然科学版), 2007, 35(7): 110-113.
- [4] 饶为国,江辉煌,侯庆华.桩-网复合地基后沉降的薄板理论论解[J].水利学报, 2002, 33(4): 23-27.
- [5] 陈仁朋,贾宁,陈云敏.桩承式加筋路堤受力机理及沉降分析[J].岩石力学与工程学报, 2005, 24(23): 4358-4367.

#### 参考文献:

- [1] JGJ 120-99,建筑基坑支护技术规程[S].
- [2] CECA96:97,基坑土钉支护技术规程[S].
- [3] 刘建航,等.基坑工程手册[M].北京:中国建筑工业出版社, 1997.
- [4] 高大钊,陈忠汉,黄书秩,等.深基坑工程[M].北京:机械工业出版社, 1999.
- [5] 余志成,施文华.深基坑支护设计与施工[M].北京:中国建筑工业出版社, 1999.
- [6] 崔江余,梁仁旺.建筑基坑工程设计计算与施工[M].北京:中国建材工业出版社, 1999.
- [7] 朱伟民.谈深基坑支护工程的安全施工[J].山西建筑, 2004, 30(20).
- [8] 朱黎心,杨瑞清,苏鸿.深圳赛格大厦基坑支护工程实例[J].工程勘察, 2001, (6).