

Φ200m钢筋混凝土圆环桁架支撑系统  
在深大基坑围护工程施工中的

# 应用与研究论文集

主编 刘有才 董利华 裘宝华



中国建筑工业出版社

# $\phi 200\text{m}$ 钢筋混凝土圆环桁架支撑系统 在深大基坑围护工程施工中的 应用与研究论文集

主编 刘有才 董利华 裘宝华

中国建筑工业出版社

**图书在版编目(CIP)数据**

$\phi$ 200m 钢筋混凝土圆环桁架支撑系统在深大基坑围护工程施工中的应用与研究论文集/刘有才,董利华,裘宝华主编. —北京:中国建筑工业出版社,2006

ISBN 7-112-08100-9

I.  $\phi$ ... II. ①刘... ②董... ③裘... III. 基础(工程)—工程施工—文集 IV. TU753-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 012333 号

责任编辑:周世明

责任设计:肖广慧

责任校对:汤小平

**$\phi$ 200m 钢筋混凝土圆环桁架支撑系统  
在深大基坑围护工程施工中的应用与研究论文集**

主编 刘有才 董利华 裘宝华

\*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

新华书店经销

北京嘉泰利德公司制版

北京云浩印刷有限责任公司印刷

\*

开本:787×1092 毫米 1/16 印张:5 $\frac{1}{4}$  字数:125 千字

2006 年 4 月第一版 2006 年 4 月第一次印刷

印数:1—500 册 定价:12.00 元

ISBN 7-112-08100-9

(14054)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题,可寄本社退换

(邮政编码 100037)

本社网址: <http://www.cabp.com.cn>

网上书店: <http://www.china-building.com.cn>

## 编 委 会

主 编：刘有才 董利华 裘宝华

编 委：（以姓氏汉语拼音为序）

冯同忠 李建明 李象范

裘洪明 瞿成松 宋国台

王永泉 王燮良 尹 骥

张文建 张晓辉 张荣灿

章国荣

# 前 言

本论文集是参与上海绿洲中环中心工程各方以上海绿洲中环中心基坑工程为载体,开展 $\phi 200\text{m}$ 钢筋混凝土圆环桁架支撑系统在深大基坑围护工程施工应用研究课题实践过程的认识、总结和体会。

全书共九篇文章,比较系统地介绍了钢筋混凝土特大( $\phi 200\text{m}$ )圆环桁架内支撑系统作用在上海软土地基特大基坑的方案设计、基坑降水、土方开挖、监测以及用户报告和检索单位的水平查新报告摘要,内容详实,条理清楚,结果诚信度更高,对类似的基坑支护工程具有较大的借鉴价值。

本书可供土建基础工程、地下建筑工程领域中的有关基坑支护设计人员,施工技术人员,监测人员,科研人员及大专院校有关专业的师生参考。

# 目 录

|    |                                                    |                     |
|----|----------------------------------------------------|---------------------|
| 1  | φ200m 钢筋混凝土圆环桁架支撑系统在深大基坑围护工程<br>施工应用研究综述 .....     | 刘有才 董利华 裘宝华         |
| 7  | 上海绿洲中环中心超大深基坑以钢筋混凝土圆环桁架结构<br>作为内支撑的基坑围护设计<br>..... | 李象范 尹 骥 刘有才 董利华 冯同忠 |
| 26 | 上海绿洲中环中心深大基坑的降水技术<br>.....                         | 董利华 瞿成松 张文健 王燮良 章国荣 |
| 38 | 大直径钢筋混凝土圆环桁架支撑系统施工技术<br>.....                      | 裘宝华 王永泉 李建明 谢国春 张文健 |
| 43 | 上海绿洲中环中心基坑土方开挖技术<br>.....                          | 刘有才 裘宝华 宋国台 张晓辉 张荣灿 |
| 53 | 经济效益和社会效益分析 .....                                  | 王永泉 李建明 裘宝华 董利华     |
| 55 | 用户报告 .....                                         | 冯同忠                 |
| 56 | 监测阶段成果报告 .....                                     | 刘有才 张文健 裘洪明 张荣灿     |
| 74 | 水平查新检索结论摘要 .....                                   | 上海市科学技术情况研究所        |

# φ200m 钢筋混凝土圆环桁架支撑系统在 深大基坑围护工程施工应用研究综述

(浙江中成建工集团有限公司 刘有才 董利华 裘宝华)

**【关键词】** 特大直径、钢筋混凝土圆环桁架、水平支撑、土方开挖工程、分层、分段、平面流水、立体交叉、均匀对称平衡、中心岛留土、栈桥、抽水、盲沟排水系统、极坐标测量放样、信息管理、监测、平面外失稳。

前言：随着上海城市建设的发展，地下空间的开发已成为城市建设的重要内容，近年来在上海的地下空间开发中深基坑支护技术也不断的创新和提高，获得了甚多科技研究成果，在软土地基条件下和城市密集地区创造了诸多不同与相适应的基坑支护型式和施工方法，克服了很多设计和施工难题，目前上海基坑围护普遍采用地下墙、钻孔灌注桩、SMW工法、水泥土重力坝等形式，并设置与之相适应的多种内支撑的围护结构。

近年来，地下空间面积扩大，开挖深度越来越深，同时对基坑围护的技术要求越来越高，在面临超大面积和深度的地下建筑施工中，必须开发和创新新的围护结构形式和施工方法，本应用研究课题就是针对 φ200m 直径超大型地下工程的施工，在学习和沿用上海深基坑施工经验基础上研究创新的一种支护设计型式和施工方法。

## 一、工程概况

### 1. 工程位置及环境

绿洲中环中心工程位于上海市普陀区长征镇内的金沙江路和真北路交叉口的西北象限，北临虬江河，为集工商注册、年检、接待、文秘、翻译、财务、档案管理、会务中心、生活、商业消费于一体的多功能的大型综合商业建筑。

本工程地下施工面积大，环境复杂，在东侧紧邻的真北路口是正在加紧建设的中环线工程，真北路基土埋有 φ1200、φ300 供水管，24 孔市话线管，金沙江路近侧是农工商超市和餐饮酒店等商业区，该路基内有 φ500 供水管及路灯电缆等，地下管线众多。

### 2. 工程概况

本工程由 1 号、2 号办公楼（31 层）、4 号、5 号商务楼（5 层）、8 号、9 号商业步行街（3 层）、7 号综合楼（12 层）共 7 幢单体及公建地下 2 层车库组成，占地面积 77700m<sup>2</sup>，总建筑面积 183586m<sup>2</sup>，其中地上建筑面积 121496m<sup>2</sup>，地下建筑面积 62090m<sup>2</sup>。

本次地下工程，基坑集七幢高、多层建筑和地下车库于一体，平面呈正圆形，最大半径 105.2m，地下一层层高 4.7m，地下二层层高 3.8m。为钢筋混凝土箱形结构。

整个基坑基本呈圆形，围护体一般外径  $\phi 200\text{m}$ ，最大外径  $\phi 210\text{m}$ ，周长  $640\text{m}$  左右。场地自然地坪标高绝对标高  $+3.80\text{m}$ ，大部分坑底绝对标高为  $-4.50\text{m}$ ，1 号、2 号办公楼区坑底绝对标高为  $-5.90\text{m}$ ，电梯井、集水井等设施落底  $2\text{m}$ ，即绝对标高为  $-7.90\text{m}$ 。由此推算，基坑大部深度为  $8.30\text{m}$ ，办公楼区深度为  $9.70\text{m}$ ，电梯井集水井局部深度为  $11.70\text{m}$ 。

## 二、基坑支护方案

### 1. 工程特点和技术关键

本工程基坑面积  $34000\text{m}^2$ ，面积较大，单体工程多，施工交叉工序多，周期长是该基坑工程的特点。

鉴于圆形基坑直径达  $\phi 210\text{m}$ ，整个施工过程无法采用常规支撑围护方案和施工手段，施工技术要求高，其主要施工技术关键是：

(1) 基坑面积超大，如何研究采用经济合理的基坑围护结构内支撑方案是本次基坑工程成败的关键。

(2) 该基坑工程不仅面积大，且单体多种多，施工面广，交叉施工复杂，因此合理选用新颖的基坑支护，同时解决基坑降水，主体交叉流水作业、组织合理的土方开挖是该大型基坑工程施工安全、文明施工和加快施工速度，降低工程的成本重要问题。

(3) 基坑开挖面大，开挖土方量达  $30\text{万 m}^3$ ，其施工过程对环境保护是重要环节，为此除采用合理的开挖方式和技术措施外，如何做好环境监测，以信息化指导施工也是施工中的重要内容和技术关键。

### 2. 工程地质状况

本工程基坑围护及基坑开挖涉及第①层填土（局部涉及第①层浜填土），第②层粉质黏土夹砂质粉土，③层砂质粉土，④层淤泥质粉质黏土，第④层淤泥质黏土，第⑤层 1-1 层黏土，第⑤层 1-2 层粉质黏土，坑底位于第③层砂质粉土中。基坑各土层的含水量在  $25.0\% \sim 52.9\%$  之间。

### 3. 基坑支护方案

针对基坑平面面积大，且呈  $\phi 200\text{m}$  直径的圆形特点，通过方案比较和技术经济分析，本工程基坑支护采用以下方案。

(1) 围护体采用钻孔灌注桩 + 深层搅拌桩：钻孔桩直径  $0.8\text{m}$ ，桩长  $17.1\text{m}$ （靠近金沙江路真北路侧桩直径  $0.9\text{m}$ ，桩长  $19.6\text{m}$ ）外层用双排水泥土搅拌桩作为防渗隔水帷幕。

(2) 坑内加固：坑底电梯井、集水井等局部落深处进行压密注浆处理，注浆宽度  $3\text{m}$ ，注浆厚度  $5\text{m}$ 。

(3) 坑内水平支撑体系：

内支撑体系采用二道圆环钢筋混凝土桁架水平支撑。第一道水平支撑中心标高（相对标高） $\nabla -2.900\text{m}$ ，为钢筋混凝土双圆环桁架，结构外环梁直径  $\phi 197.0\text{m}$ ，支撑截面  $1600\text{mm} \times 1000\text{mm}$ ，内环梁中心直径  $\phi 176.2\text{m}$ ，支撑截面  $1600\text{mm} \times 1000\text{mm}$ 、冠梁截面

1000mm×800mm, 第二道水平支撑为三圆环桁架结构, 中心相对标高▽-7.20m, 外环梁直径  $\phi 195.4\text{m}$ , 截面 1200mm×1000mm, 中环中心直径  $\phi 176.2\text{m}$ , 截面 1600mm×1000mm, 内环梁中心直径  $\phi 156.2\text{m}$ , 梁截面 1200mm×1000mm, 围檩截面 1000mm×800mm, 各环梁间以 600mm×800mm 的腹杆梁连接。

(4) 为支撑二道  $\phi 200\text{m}$  圆环水平支撑的自重及其上的施工荷载, 同时为抵御水平支撑在坑外主动土压力作用下产生的沉降和隆起, 进而控制圆环水平桁架支撑的平面外失稳, 沿内圆环、中圆环均匀设置了 470mm×470mm 的 4L140×14 的钢格构柱、钢格构柱通过与之连成一体钻孔灌注桩与土体嵌固。钢格构柱共 138 根。

(5) 为考虑大型基坑开挖和施工要求, 在基坑内侧设置二座专用栈桥, 二座栈桥分别设置在西南象限偏东侧和东北象限偏东侧, 以使金沙江路与真北路依近距离接通, 保证坑内土方外运畅通。栈桥长 40.9m, 宽 8m, 高度 5~8.50m, 共 8 跨, 跨度分别为 5.67m、6×5m、4.75m。栈桥由三部分构成: ①桥面系; ②桥身; ③桥桩。

①桥面系由纵梁、横梁、桥面板、桥侧防护拉杆组成, 为钢筋混凝土结构, 混凝土强度等级 C30, 桥面斜坡 1:9, 两根纵梁沿桥轴线布置, 间距 5400mm, 距中, 截面 500mm×800mm、横梁截面 450mm×700mm, 间距与跨度相等。

②桥身为 470mm×470mm 的 4L140×140 钢格构柱, 上部伸进桥面系的混凝土体中, 根部埋入桥桩内。

③桥桩是钻孔灌注桩, 共 17 根, 其中 9 根与基坑水平支撑的垂直支撑共用, 按一桩一柱布置, 桩径  $\phi 800\text{mm}$ , 桩深 30m。

### 三、工程特点和创新

#### 1. 首次采用 $\phi 200\text{m}$ 特大型钢筋混凝土圆环桁架支撑系统在大型多功能商业网点建筑群体联体地下空间深基坑围护工程施工中应用成功

基于本工程为一特大直径—— $\phi 200\text{m}$  的圆形深坑, 因此选择了圆环桁架支撑结构体系, 圆环桁架支撑在均匀土压力的作用下, 环梁桁架结构主要表现为轴力, 弯矩很小, 因此极大地利用了钢筋混凝土支撑的抗压性能。

由于圆环桁架水平支撑的内环直径以内留置出很大的空间, 在庞大的地下空间基坑的土方开挖中, 创造出至少占整个基坑 2/3 面积投影的深基坑土方大开挖, 有利于大规模土方挖掘、土方外运。本工程基坑挖土土方约 30 万  $\text{m}^3$ , 在圆环桁架支撑的情况下, 自 6 月初土方开始开挖到土方全部挖出仅占工期 80 天, 这其中还完成了 7000  $\text{m}^3$  的二道水平支撑钢筋混凝土的施工, 与其他相应工程的土方开挖相比工期至少提前 2~3 个月。

从相关资料检索知, 目前国内实施成功的最大圆环水平桁架支撑基坑是杭州运河广场基坑, 基坑 130m×140m, 开挖深度 10.30m, 采用双圆环桁架水平支撑, 圆环最大直径  $\phi 130\text{m}$ 。

国际上, 日本东京地下变电所基坑圆环直径仅  $\phi 144\text{m}$ 。而本工程基坑一般直径  $\phi 200\text{m}$ , 局部最大直径  $\phi 210\text{m}$ , 与国内外圆环钢筋混凝土桁架水平支撑相比, 本工程大直径支撑的成功是在以往成功工程实践经验基础上的突破和创新, 首次采用了  $\phi 200\text{m}$  以上直径特大型钢筋混凝土圆环桁架支撑系统在大型多功能地下空间深基坑围护工程施工中应

用,并取得成功。

本工程围护结构的变形和受力计算采用了平面有限元程序,在此基础上,设计时着重考虑圆环桁架支撑系统在平面外失稳问题,充分考虑各施工工况的最不利条件,因此还采用了考虑三维桩、土、支撑体系共同作用的基坑开挖程序——FLAC 程序。

——合理有效的钢筋混凝土圆环水平桁架支撑结构体系是本课题的最大特点和创新。

## 2. 针对特大型地下空间施工特点,研究开发适应于大型基坑工程施工成套地下空间开挖技术

(1) 成功地采用井点降水与坑底盲沟排水相结合的排水系统,解决大型基坑坑内土体降水和坑底地面排水。

由于基坑面积大,且施工周期长,解决基坑降水和坑内降水是超大型基坑的施工关键之一,在深基坑经验基础上,针对本工程施工特点和施工条件,本工程在土方开挖前设置了 98 套真空深井降水,在分层土方开挖中辅以轻型井点降水,使土方在固结的情况下挖出顺利装车外运。

土方开挖至坑底沿直径间隔 20m 设置圆形盲沟,盲沟截面 400mm × 300mm,沟内填 5 ~ 40mm 厚石子,各盲沟就近与深井管沿盲沟的圆弧径向接通,以此确保坑底地表水通过原深井管潜水泵排出,确保地下室底板结构工程在干燥良好的环境下施工。

(2) 采用分层、分块、平面流水与立体交叉的施工技术和施工组织方式,快捷有效的施工,成功地解决在特大型地下室工程的施工安全、环境保护和文明施工。

本工程基坑土方开挖 30 万  $\text{m}^3$ ,由于土方量大,施工机械多,施工作业交叉,为此开挖工程采取了分层、分块立体和平面交叉的施工方案,立面分三层六次开挖,每层先挖基坑周边土方、后挖中心岛留置土方。由于采用这种程序施工,当周边的土方开挖完成后,穿插期间的水平支撑钢筋混凝土结构施工和混凝土的养护,如对于第一次挖土完成而言,第一道支撑混凝土结构施工即将完成,混凝土强度正在养护,在此期间,坑内栈桥钢筋混凝土结构可施工,第二次土方可以在第一次土方结束后连续进行,同样在第二次土方完成后,栈桥混凝土强度已达到设计值,第三次土方可以通过栈桥外运,进而第二道水平支撑穿插期间施工;同理在第二道支撑混凝土养护时,第四次土方可在第三次土方结束时,连续进行……。通过精心组织安排,从第一次到第六次土方开挖一直都处于连续施工状态。

由于基坑内支撑是圆环水平桁架结构,所以在平面上按分段,对称、均匀平衡原则进行挖土,从理论上使坑内土方开挖近似水平下降,确保圆环水平支撑均匀受力,防止圆环水平支撑平面外失稳。

从第二层土方开挖起,中心岛留置的土方通过坑边两座栈桥运出,进而确保坑内大部分土方规模出土。

在土方开挖的过程中,同时交叉进行着两道圆环水平支撑 7000 $\text{m}^3$  钢筋混凝土的结构施工,在第 5、6 次土方开挖中同时进行着工程桩的截桩工程、坑底盲沟工程、基础垫层、部分单位工程的承台底板钢筋混凝土结构工程施工,由此使整个施工实现了平面流水与立面立体交叉施工的技术实施和施工组织方式。展现在现场的是一付紧张而有次序的施工场面,成功解决了大型地下室工程的施工安全、环境保护和文明施工。本土方工程从 2005 年 6 月初开始到 2005 年 8 月 26 日结束(80 个工作日),整个过程受到业主、监理、市环

卫、区安监站的好评。

(3) 采用了一套精确的测量定位方法,使工程测量精度和质量达到较高品位。

本工程由于施工面大,单体工程多,且施工设备和人员多而复杂,工程测量定位精度控制是重要环节,也是技术难度较高的工作之一,为此,本工程施工中,紧紧抓住测量定位一环,采取合理布置测量控制网基础上,采取严格的测量定位方法等措施,使整个测量精度达到设计要求。

为使圆环水平支撑的各圆环具有一个共同的圆心(即同心度)和控制各圆环的椭圆度,在圆环水平支撑的施工放样中建立了以圆环圆心为极点的极坐标测量系统,并使用红外线全站仪,加密测设各圆环内外圆弧各点。精确简便迅速地完成圆环支撑的测量放样,将圆环椭圆度控制在 $\leq 2\text{cm}$ 以内。

圆环支撑施工中的水平控制,通过限止水平支撑的混凝土垫层的不平度控制,确保支撑底平面不平度 $\leq 2\text{cm}$ 。

(4) 制定一套严密的监测手段,确保工程施工和环境安全

为确保特大深基坑的施工安全,确保在深基础施工过程周围道路和地下管线的正常营运,作为信息管理,本工程制定以下监测内容:

- 1) 围护桩墙的测斜监测;
- 2) 围护桩墙顶部沉降观测;
- 3) 环梁水平支撑轴力监测;
- 4) 坑内外地下水位监测;
- 5) 支撑结构钢立柱的沉降观测;
- 6) 邻近建筑物监测;
- 7) 周围地下管线监测;
- 8) 基坑外地表沉降监测。

时至9月19日,累计监测结果如表1。

累 计 监 测 结 果

表 1

| 序号 | 部位及监测内容    | 点号    | 累计监测值  | 规定限值   |
|----|------------|-------|--------|--------|
| 1  | 路灯电缆管线沉降   | JG12  | 15.7mm | 15mm   |
| 2  | 象源丽都住宅建筑沉降 | J2    | 17.1mm | 30mm   |
| 3  | 坑外地表沉降     | DB4-5 | 24.4mm | 50mm   |
| 4  | 坑外水位沉降     | L7    | 510mm  | 500mm  |
| 5  | 钢立柱最大沉降    | D1    | 18.5mm | 15mm   |
| 6  | 钢立柱最大沉降    | D13   | 10.5mm | 15mm   |
| 7  | 围护桩水平位移    | S2    | 18.5mm | 30mm   |
| 8  | 围护桩侧斜      | CX7   | 58.8mm | 50mm   |
| 9  | 第一道外环梁轴压力  | Z8    | 4192kN | 8000kN |
| 10 | 第一道内环梁轴压力  | Z6    | 3867kN | 8000kN |
| 11 | 第二道外环梁轴压力  | Z31   | 4236kN | 8000kN |
| 12 | 第二道中环梁轴压力  | Z29   | 5060kN | 8000kN |
| 13 | 第二道内环梁轴压力  | Z24   | 5238kN | 8000kN |

通过即时的观测，工况特殊时加强观测频次，以信息作出迅速反馈，调整施工措施，使整个基坑工程一直处于可控之中。

一套严密的监测手段，确保了工程施工和环境安全。

#### (5) 经济效益与社会效益

由于该基坑工程中成功地完成了  $\phi 200\text{m}$  直径钢筋混凝土圆环支撑系统在特大而深的基坑围护方案研究，在施工过程中，开发了适应于大型基坑工程施工成套地下空间开挖技术，因此取得了较大的经济效益和社会效益。

##### 1) 经济效益：

a) 与满堂对撑或局部留置空间 + 对撑相比，节约钢筋混凝土约  $16000\text{m}^3$ ，省去竖向支撑约 200 根，就此两项产生的直接经济效益 1800 万元；

b) 由于采用了连续土方开挖的技术，与同类基坑工程相比，提前工期 2~3 个月。

2) 环境安全：成套的地下空间开挖技术，使每次每块土方开挖任务清楚，出土路线明确，运土车封闭后方可出场，建筑材料的水平运输和垂直运输线路明确，混凝土泵车泵管定址设置，材料定址堆放，人行道路、上下马路都有标识，整个现场展现出一付有条不紊的文明施工场面，整个现场路清、气清，施工中得到区质监站的好评。

3) 本工程深基坑工程施工成功，为大型基坑工程支护设计与施工提供了成功的实例和经验。

## 四、结束语

本课题的研究成功，使我们认识到

1. 在特大深基坑中应用钻孔桩、SMW 工法、地下连续墙的围护结构，选用钢筋混凝土大直径圆环桁架支撑作为基坑的内支撑结构，方案是可行的。其关键是：①在实施过程中，各种工况应使圆环四周受力尽量均匀，确保圆环的圆度；②通过精心设计，水平支撑的垂直支撑除承担水平支撑的重载外，还应能克服水平支撑向上的拔力，使水平支撑垂直变形和相邻垂直支撑变形差控制在小尺寸内，进而防止水平支撑平面外失稳，只要水平支撑失稳问题解决的好，特大圆环桁架支撑和直径还可以增加。

2. 平面分块、分段、对称均匀开挖，立面分层分次、先四周后挖中间，并由栈桥出土的方法是使圆环桁架支撑受土压力荷载均匀的方法，这种方法是保证钢筋混凝土圆环桁架支撑安全有效土方开挖方案。

3. 为使钢筋混凝土圆环桁架水平支撑正常有效的发挥作用，避免平面外失稳等异常情况发生，基坑的全方位监测必不可少，必须加强信息管理，出现问题，随时解决，确保圆环水平支撑安全，确保基坑安全。

# 上海绿洲中环中心超大深基坑以钢筋混凝土圆环桁架结构作为内支撑的基坑围护设计

李象范<sup>1</sup> 尹骥<sup>1</sup> 刘有才<sup>2</sup> 董利华<sup>2</sup> 冯同忠<sup>3</sup>

(1. 同济大学地下建筑与工程系 2. 浙江中成建工集团有限公司 3. 上海金牛置业有限公司)

## 一、前言

### 1. 工程概况

绿洲中环中心工程场地位于真北路以西,金沙江路以北,虬江河以南,拟建2幢31层办公楼、2幢5层商务楼、2幢3层的商业步行街、1幢12层的综合楼及公建2层地下车库,占地面积77700m<sup>2</sup>。工程基坑实际开挖深度地下车库部分为8.3m,1号2号塔楼开挖深度为9.7m。电梯井、集水井等设施,落低2.0m左右。基坑近乎为一直径200m左右的圆,周长640m左右,面积约34000m<sup>2</sup>。

### 2. 工程地质状况

基坑开挖涉及第①1层填土(局部涉及第①2浜填土),第②1层粉质黏土夹砂质粉土,②3层砂质粉土,第③层淤泥质粉质黏土,第④层淤泥质黏土,第⑤1-1层黏土,第⑤1-2层粉质黏土;坑底位于第②3层砂质粉土中。

(1) 场地土的物理力学性质参数如表1、表2所示。

土层物理指标

表1

| 土层层号 | 土层名称      | 层厚(m) | 重度 $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> ) | 孔隙比 $e_0$ | 含水量 $W_0$ (%) |
|------|-----------|-------|----------------------------------|-----------|---------------|
| ①1   | 杂填土       |       |                                  |           |               |
| ②1   | 粉质黏土夹砂质粉土 | 1.1   | 18.7                             | 0.84      | 29.4          |
| ②3   | 砂质粉土      | 7     | 18.4                             | 0.92      | 33.3          |
| ③    | 淤泥质粉质黏土   | 1.5   | 17.4                             | 1.19      | 41.6          |
| ④    | 淤泥质黏土     | 5.6   | 17                               | 1.33      | 47.5          |
| ⑤1-1 | 黏土        | 5.9   | 17.7                             | 1.10      | 38.7          |
| ⑤1-2 | 粉质黏土      | 5.9   | 18.1                             | 0.98      | 33.8          |

土层力学指标

表 2

| 土层层号 | 土层名称      | 直剪固快             |                       | 渗透系数 (cm/s) |          |
|------|-----------|------------------|-----------------------|-------------|----------|
|      |           | 内聚力<br>$c$ (kPa) | 内摩擦角<br>$\varphi$ (°) | $K_v$       | $K_H$    |
| ①1   | 杂填土       |                  |                       |             |          |
| ②1   | 粉质黏土夹砂质粉土 | 7.5              | 25                    | 8.02E-06    | 2.49E-05 |
| ②3   | 砂质粉土      | 1.5              | 32.5                  | 2.24E-04    | 5.64E-04 |
| ③    | 淤泥质粉质黏土   | 10               | 16.5                  | 1.33E-06    | 3.53E-06 |
| ④    | 淤泥质黏土     | 12               | 12                    | 5.40E-07    | 1.36E-06 |
| ⑤1-1 | 黏土        | 12.5             | 14                    | 1.71E-06    | 2.80E-06 |
| ⑤1-2 | 粉质黏土      | 14               | 23                    | 7.00E-07    | 1.15E-06 |

## (2) 地下水位

拟建场地浅部地下水为潜水类型，补给来源主要为大气降水。勘察期间测得地下水静止水位埋深在 0.50 ~ 1.30m 之间。

## 二、围护体系设计的特点

1. 由工程地质勘察报告可见，场地土主要有以下两个特点：

(1) 基坑所处土层，上部表层 3m 左右土质较为软弱，第②3 层砂质粉土强度指标很高，但是下卧的第③层淤泥质粉质黏土，第④层淤泥质黏土土层比较软弱；

(2) 坑底所处的第②3 层砂质粉土，砂性很重，渗透系数很大（量纲为  $10^{-4}$  cm/s），基坑开挖工程中非常容易产生流砂、管涌。

因此本工程基坑围护的成败很大一部分决定于防渗帷幕的可靠度。

2. 本工程基坑面积达 34000m<sup>2</sup>，基坑圆形直径达  $\phi 200$ m，整个施工过程无法采用常规支撑围护方案，如何研究采用经济合理的基坑围护结构内支撑方案成为本次设计的关键。同时该基坑工程不仅面积大，且单体多，施工面广，交叉施工复杂，因此合理选用新颖的基坑支护的同时，还要兼顾基坑降水、主体交叉流水作业、土方开挖组织的合理性和科学性。

## 三、围护体系的方案优选

### 1. 围护结构：钻孔灌注桩与 SMW 工法

开挖 8.3m 深的基坑可以选用钻孔灌注桩和 SMW 工法作为围护。

钻孔灌注桩刚度要大于 SMW 工法的 H 型钢。竖向设计表明钻孔灌注桩的最大水平位移为 17.8mm 左右（开挖 9.7m 区域最大位移为 21.3mm 左右）。但若采用 SMW 工法，围护墙体位移最大 40mm 左右。考虑周边环境的保护要求，因此拟采用刚度较大的钻孔灌注桩作为围护桩。上海地区基坑施工的经验表明：当施工时间在四个月之内时，SMW 工法造价少于钻孔灌注桩。但本工程从围护施工至地下结构出  $\pm 0.00$  至少需要 10 个月时间。

型钢使用（租用）时间太长，价格昂贵，SMW 工法在经济性方面也没有优势。

## 2. 中心岛法和整体支撑系统比较

超大型基坑采用中心岛法（即先做中间部分的结构，然后加抛撑，最后施工周边结构）施工，并且有成功的先例。本工程项目由 1 号、2 号、4 号、5 号、7 号、8 号、9 号七幢建筑地下室与地下车库组成，三幢高层（塔楼）1 号、2 号及 7 号都靠近基坑的边沿。采用中心岛法必然将底板甚至中心筒体分块施工，额外设置施工缝，会对工程结构产生不利的影响。

采用中心岛法施工复杂：除了底板分块需进行防水处理，抛撑穿墙也需要进行防水处理。

采用中心岛法二次挖土非常困难。特别基坑靠近红线处，地表无法停车，土方必须在坑底进行水平运输。这在抛撑没有拆除之前，是非常困难的。

采用中心岛法施工需采用斜抛撑，如果采用一道支撑则基坑位移较大，且风险较大；如采用两道支撑，则造价也无优势。且《基坑工程设计规程》（DGJ08—61—97）9.2.6.1 规定：采用斜撑体系的基坑开挖深度不大于 7m。

鉴于以上原因，基坑采用钻孔灌注桩 + 水泥土搅拌桩 + 钢筋混凝土圆环桁架整体支撑的支护方案。本工程平面形状基本为圆形，所以采用圆环桁架整体支撑系统无论在受力上还是经济上都是比较理想的方案。

## 3. 支撑系统技术特征

首次在特大直径 200m 的圆形深基坑内采用圆环桁架水平支撑体系，充分利用圆环钢筋混凝土受压性能好的材性，采用平面几何布置较优的双圆和三圆组成圆环桁架体系，优化了水平支撑体系的杆件，使杆件断面更趋合理。

同类工程实例：杭州运河广场基坑 130m × 140m。开挖深度 10.3m，采用双圆环（直径 130m）组成的环形桁架支撑，非常稳定，最大位移仅 50mm。（该工程处于深厚的淤泥质土中，土的强度远没有本工程高）

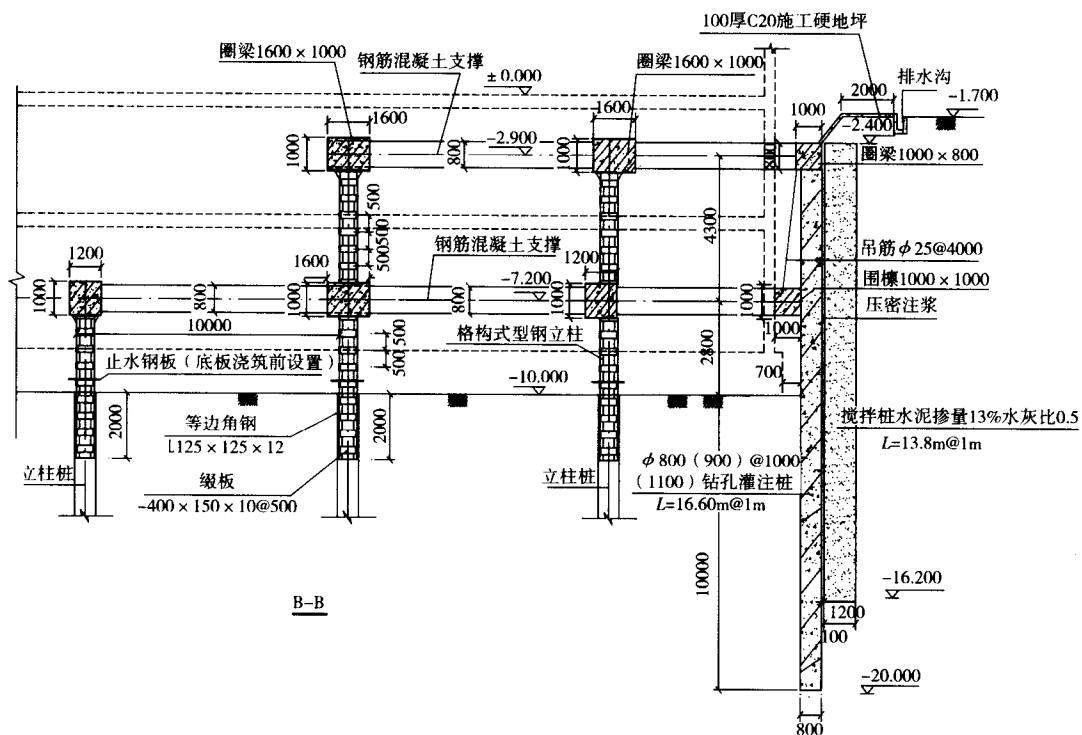
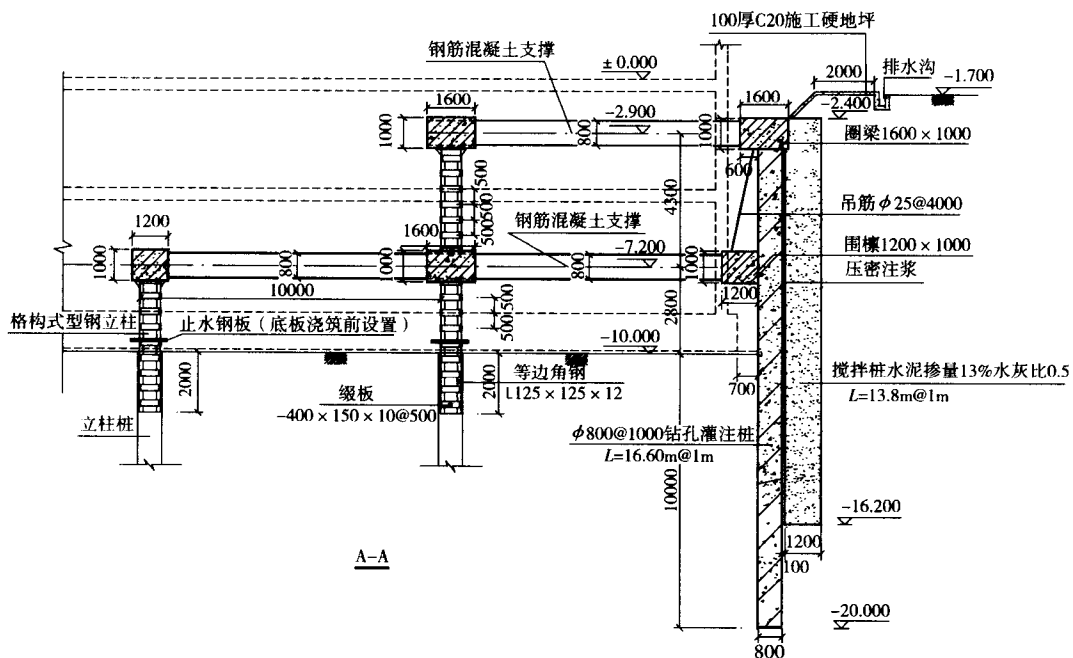
## 4. 围护体系设计简述

本工程周边马路管线较多，因此本基坑按二级基坑要求设计。

### （1）竖向设计

本工程开挖深度为 8.3m，1 号、2 号塔楼的基础部分开挖 9.7m 左右，且塔楼基础接近围护边界。故拟用双排搅拌桩作为防渗帷幕隔断坑内外的地下水，直径 0.8m（深区为 0.9m）的钻孔灌注桩作为围护桩。围护桩的桩长等数据详见围护剖面图图 1 和图 2。

基坑开挖深度基本为 8.3m，基坑处于真北路与金沙江路地交叉路口，两条路上都需要保护地市政管线，另外面积很大。因此，为了有效限制位移，拟采用两道支撑：第一道支撑落低 1.2m，第二道支撑落低 5.5m。第一道支撑位于中楼板与首层底板之间，第二道支撑位于中楼板与承台底板之间，均不妨碍承台和地下室顶板施工。且上下跨度比较接近，灌注桩受力比较小，布置比较经济。仅①、②号楼由于底板厚度达 2.4m，所以该处基坑开挖深度为 9.7m。



从第二道支撑开挖面跨度达 4.2m，灌注桩弯矩较大。为此，局部深坑部分灌注桩由  $\phi 800$  改为  $\phi 900$ ，在该处进行压密注浆坑底加固，注浆宽度 3m，深度 5m。

(2) 平面设计

①水平支撑系统（图 3）：本工程由三幢高层相互联成片的两层地下室组成。本工程平面上基本为一圆形，外径约为 210m，所以采用的支撑形式为多个圆环组成的圆形桁架。第一道支撑为双圆环，第二道支撑为三圆环。考虑到该圆直径比较大，为了增加整体刚度，环形支撑截面比较大，分别为 1600mm × 1000mm（第一道支撑，外环梁），1600mm × 1000mm（第一道支撑，内环梁）；1200mm × 1000mm（第二道支撑，外环梁），1600mm × 1000mm（第二道支撑，中环梁），1200mm × 1000mm（第二道支撑，内环梁）。环与环之间半径相差为 10m 左右，以 600mm × 800mm 的连系梁连接，目的是形成整体受力。

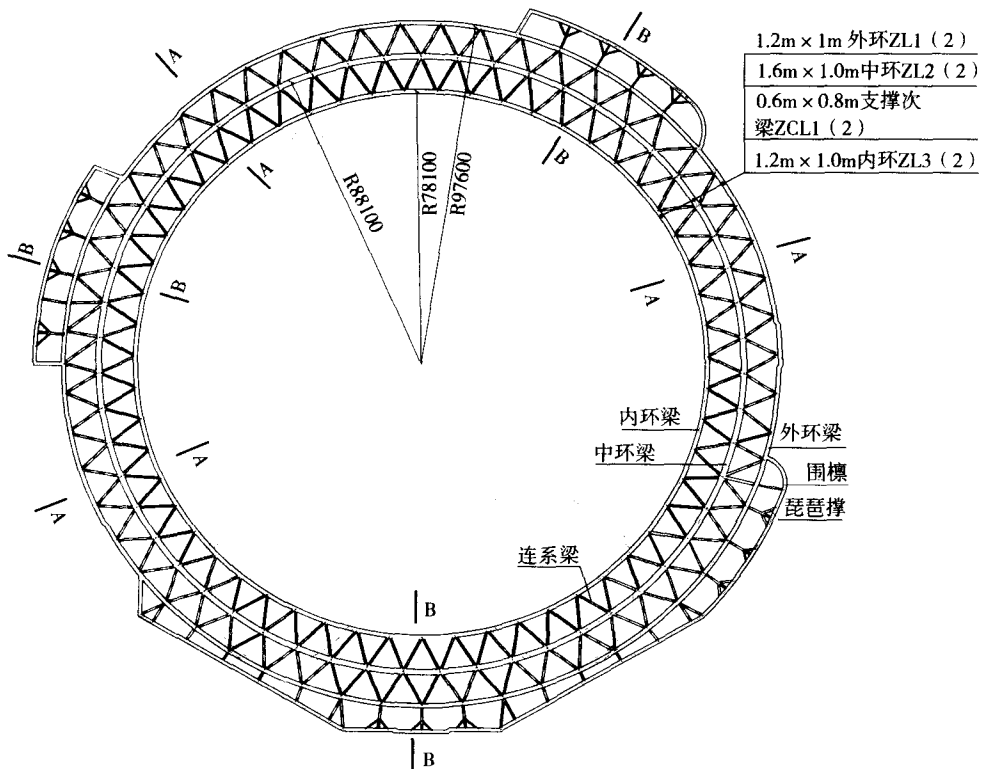


图 3 基坑水平支撑平面图

②立柱：为支撑二道  $\phi 200m$  圆环水平支撑的自重及其上的施工荷载，同时为抵御水平支撑在坑外主动土压力作用下产生的沉降和隆起，进而控制圆环水平桁架支撑的平面外失稳，每一节点处均匀设置了 470 × 470 的 4L140 × 14 的钢格构柱、钢格构柱通过与之连成一体的钻孔灌注桩与土体嵌固。钢格构柱共 138 根。

(3) 挖土专用栈桥

为考虑大型基坑开挖和施工要求，在基坑内侧设置二座专用栈桥，二座栈桥分别设置