

# ShangHai

Jie Gou She Ji

# 结构 设计

上海  
高层超高层建筑  
设计与施工

上海市建设和管理委员会科学技术委员会 编

上海科学普及出版社



## ■ 编委名单

### 上海高层超高层建筑设计施工 结构设计

顾 问：张忠民 熊建平 黄健之 徐君伦

主 编：沈 恭

副 主 编：严庆征（常务）

姚念亮 汪大绥 侯焕文 顾嗣淳

编辑委员会：（按姓氏笔画为序）

王振雄 付克祥 朱 俊 沈 恭

汪大绥 李友达 严庆征 陈宗梁

张富林 陈建庭 侯焕文 赵 俊

姚念亮 顾嗣淳 蒋志贤 路 佳

编 辑 部：朱 俊 陈建庭 陈传玉

主要摄影：陈伯焙 刘大龙

### 图书在版编目(CIP)数据

上海高层超高层建筑设计与施工. 结构设计/上海市建设和管理委员会科学技术委员会编. —上海: 上海科学普及出版社, 2004.1  
ISBN 7-5427-2473-8

I. 上… II. 上… III. 高层建筑—结构设计—上海市 IV. TU97

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第114601号

责任编辑 陈爱梅

特约编辑 钟海谷

上海高层超高层建筑设计与施工

### 结构设计

上海市建设和管理委员会科学技术委员会 编

上海科学普及出版社出版发行

(上海中山北路832号 邮政编码 200070)

各地新华书店经销 上海江杨印刷厂印刷

开本 889×1194 1/16 印张 31 插页 1 字数 700 千字

2004年1月第1版 2004年1月第1次印刷

ISBN 7-5427-2473-8/TU·40 定价: 180.00 元

# 序

沈 恭

《上海高层超高层建筑设计施工》丛书的第二分册《结构设计》和读者见面了。本书是《上海八十年代高层建筑设计施工》丛书第二分册的继续,选择的工程则是20世纪90年代至今的典型项目,代表了上海地区这一时期建筑设计的不同结构体系,综合地反映了20世纪80年代以后上海高层和超高层建筑结构设计的概况和水平。本书编辑出版的目的,一是通过典型工程的介绍,使读者能从中归纳总结取其精华,做到为我所用,从而提高自身的设计水准,进而为上海市今后的结构设计开创一个更新的局面;二是通过本书的编撰,将分散在各设计单位的实践经验加以集中,采用开放式和记实式的手法,把一个个工程结构设计的关键提示出来,互相交流、学习、借鉴;三是把上海高层建筑结构设计的事迹连贯地记录和保存下来,传递下去。

回顾十多年历程,深深感到上海结构设计工程师真是生逢其时,改革开放和大规模的建设给工程师们创造了多么丰富多彩的舞台,英雄大有用武之地。读者们可以把本书与其前著《上海八十年代高层建筑设计施工》丛书中的《结构设计》分册加以对比,就可以发现,新十年内上海出现了更多的新结构体系,技术难度提高了,需要设计人员探索研究的内容增多了。进一步分析也可以看到,新十年内上海在高层和超高层建筑设计领域内技术的储备也加强了。新一代的计算机程序逐步进入市场,成功地应付了工程的需要。上海针对性的地方技术规范规程也陆续批准颁布。如上海地区的建筑抗震规程,高层钢筋混凝土筒体设计规程,高层钢结构设计暂行技术规定等,上海地基基础设计规范也进行了适时的修改。这些规范规程的制订和修改,为结构设计提供了有力的技术支撑和保证。有关的技术问题这里就不展开了,读者可以在阅读本书综述和各篇专文中找到答案。

这里我还要提到一个结构工程师们普遍感兴趣的问题,即建筑物的自振周期,本书每篇文章里都有记载,但理论计算和实测差异是什么?十分感谢同济大学吕凶林教授对本书的支持,当吕教授得知本书正在编撰时,及时地提供了较多的实测资料,这些资料极大地丰富了本书的内容,在此我对吕教授再次表示谢意。本书的出版凝聚了领导、专家、编委、作者等工作班子的关心和支持,不少同志为此付出了辛勤的劳动。

要感谢上海市建设和管理委员会领导对出版本丛书长期的支持,感谢上海市建委科学技术委员会从80年代丛书编撰起迄今的不断鼓励,在人、财、物上给科技委编辑部的支持,没有市建委和市建委科技委的有力支持,这项意义重大的工作是无法完成的。

感谢编委和作者们的关心,本书作者多数是上海市内结构设计的骨干,平时工作已

经够忙了,还要请他们写文章,给他们加压力,本人深表歉意。

还应感谢为本书编撰组稿的华东建筑设计研究院的张存鑫,上海市建筑设计研究院的付克祥同志,以及同济大学建筑设计研究院,中国船舶工业总公司第九设计研究院,江苏省建筑设计研究院,上海冶金设计研究院,上海地下建筑设计研究院的同志们。

没有他们的协助,本书要及时出版也是很难的,至于科技委编辑部,那就更不用提了,十多年来辛勤工作,热情、严谨、认真、负责,他们的敬业精神感动了我,使我更有信心把工作做好。

本书的出版,使得上海自上世纪 80 年代开始至今二十多年的结构设计历史得以延续,每十年作为一个阶段。但愿这项有意义的技术归纳总结今后有人一次次做下去,为结构设计工程师的不倦努力,孜孜以求的敬业精神立传。

# 综述

严庆征

20世纪80年代上海高层建筑有了较快的发展,而进入90年代后,上海高层建筑的发展无论在数量、质量上和技术上又有了新的突破。90年代这10年来已建成的高层建筑达2645幢,其中综合楼335幢、商务楼304幢、宾馆49幢、教科研1153幢、住宅1888幢、工业16幢,其中层数在30层以上或高100m以上的有257幢。最高的超高层建筑金茂大厦为88层,高420.5m。遍及浦江两岸的上海高层建筑,使上海城市面貌发生了巨大的变化。

建筑是历史的回眸。回顾20世纪90年代上海高层建筑的结构设计,则较之80年代立意高,难度大,结构设计精彩纷呈。上海市建委科技委从技术总结的需要出发,编撰出版本书《上海高层超高层建筑设计与施工》丛书第二分册《结构设计》,选择有代表性的工程项目共55个,分别介绍这些工程的设计特点,供同行参考之用。这些工程中有少数是由国外设计、国内顾问咨询的,在有关文章中已加以说明。

## 一、地基基础

上海地域属软土地基,软土覆盖深度甚深,土层压缩性大。建造高层建筑首先要处理好地基基础设计,解决绝对沉降和差异沉降问题。10多年来在这方面通过工程实践取得了不少成功经验,高层建筑的沉降值都能控制在150~200mm之内。对控制差异沉降方面也摸索出多种行之有效的技术措施,特别是对采用减少最大沉降值来达到减少差异沉降方面积累了较多经验,使在软土地基上建造高层建筑时可与多层裙房整体相连而不设置专门的沉降缝,从而做到对使用有利,也有利整体造型。在90年代建成类似的高层建筑中,有较多成功的工程实例,本书中均有介绍,读者可以查阅。

### 1. 高层建筑沉降值的控制

桩的选型,桩端持力层的选择是设计的关键所在。两年来上海地区除少数工程采用钢管桩外,桩型主要为现浇钢筋混凝土灌注桩,预制钢筋混凝土方桩以及先张法预制预应力混凝土管桩(PHC桩)等。从工程选用桩型情况来看,现浇钢筋混凝土灌注桩由于没有挤土问题,桩的入土深度也可不受环境条件限制,为此在市区范围以及基地周边环境较复杂的工程都优先采用这种桩,如明天广场、恒隆广场等;而对于预制桩的选用,目前大部分工程已从过去常用打桩施工法改为静压法施工,可避免噪声,但入土深度受到设备能力的限制。压桩挤土对周边环境的影响在设计中应仔细考虑。由于压桩施工质量、施工速度都优于灌注桩,故在工程中也常选用,采用预制桩压入第⑦上层的工程实例也不少;由于先张法预制预应力混凝土管桩(PHC桩)的桩身强度高,所以它的入土深度可比方桩深一点,因此常用来代替预制钢筋混凝土方桩;钢管桩桩身强度高,入土深度可更深,挤土情况也要比预制桩少,但造价较高,故一般适用于超高层建筑,如88层金茂大厦。采用 $\phi 914$ mm钢管桩,壁厚20mm,单桩设计承载力高达9450kN,入土深度达83m,桩端持力层为第⑨土,测得最大沉降值仅为80mm,并已趋于稳定。在55个代表性的工程中都有这方面的简介。

### 2. 沉降计算

20世纪80年代上海高层建筑桩基沉降的实践和经验,使以后桩基的沉降计算有了更丰富的背景资料。进入90年代,桩基沉降的计算采用以Mindlin应力公式为依据的单向压缩分层总和法,上海市地方标准《地基基础设计规范》也作了修改,桩基沉降计算方法的修改使计算结果更趋合理,与实测结果也更为接近。

### 3. 地下室埋深及防水

上海是7度抗震地区,为此对高层建筑基础埋深也有一定的要求。通常的做法是埋深不能小于建筑物室外地面以上高度的1/20。因使用功能上的需要,高层建筑一般都设有地下室,其层数一般为一至两层,个别工程也有三层,最深的基坑开挖深度已接近20m。但上海的地下水位高,对解决地下室的防水是个难题,经不断的探索,在这方面已有不少成果;如控制混凝土强度等级、合理配设分布钢筋、设置滤水层,以及采用外侧设置防水层等,都取得一定的效果。另外还有个别工程采用永久性地下水释放系统,地下水通过过滤层进入设置在底板以下的碎石层中的滤水管,用抽水泵将水排出也取得了成功。

### 4. 地下室基础底板

采用筏板较多。底板的选用经过大量工程实践也取得一些规律,在按建筑物层数来初步选定其厚度时,全剪力墙体系底板厚度约为0.04~0.05m/层,而框剪、框筒等其他结构体系约为0.05~0.07m/层,但也有个别工程底板中专门设置抗剪弯筋来改善底板厚度的工程实例。

### 5. 基坑支护

由于上海地下水位高,基坑支护既要抗侧压力还要有防水的功能,常用的基坑支护有重力式水泥土支护、钢板桩、钢筋混凝土灌注桩加防渗帷幕、现浇钢筋混凝土地下连续墙等,按地下室埋深以及基地周边情况来选用。另外在90年代还出现了“三墙合一”基坑支护设计的工程实例。利用施工时基坑支护现浇钢筋混凝土地下连续墙作为永久性的地下室外墙;有的工程同时还利用地下室的顶板、楼板、底板作为连续墙的支撑,来代替临时支撑。经一些工程实施,采用“三墙合一”的基坑变形小,基坑支护所占用地面面积也较小,反映良好,可供设计者借鉴。

### 6. 逆作法

20世纪90年代为进一步加快施工进度,降低建造成本,设计与施工密切配合协作,在上海地区实践了多幢高层建筑地下室逆作法施工,使上海地基基础设计中增添了新的内容,有关这方面的详细介绍,读者可以参阅丛书第二分

## 册《结构施工》

### 二、结构体系

20世纪90年代建成的高层建筑中大部分采用了现浇钢筋混凝土结构,并采用框-剪、框支剪、剪力墙、框-筒或筒中筒体系。建成最高的钢筋混凝土结构,如恒隆广场60层,高度244.7m;明天广场60层,高度283m,都比80年代有了较大的突破。

90年代虽然高层建筑的层数和高度都比80年代有较多的增加,但采用纯钢结构工程仍较少,除了材料供应、设计的熟练程度和习惯势力等等外,纯钢结构体系的结构造价还是略高于钢筋混凝土或钢骨混凝土结构体系,而且它的舒适度和防火性能相对又较差。继80年代上海希尔顿大酒店结构体系采用钢框架-钢筋混凝土核心筒结构和1993年设计的88层金茂大厦采用钢骨混凝土结构体系后,上海超高层建筑的结构体系已有从优先考虑纯钢结构及钢筋混凝土结构向钢骨混凝土、钢框架-钢筋混凝土筒体组合的钢混结构体系的发展趋势。这种发展倾向是适合目前中国国情和上海市情的。

采用钢骨混凝土建造高层建筑,主要是在钢筋混凝土柱截面内设置型钢,承受竖向荷载,以减小柱截面,提高有效面积利用率;从结构功能上可提高柱的延性,提高整体建筑物的抗侧刚度,对抗震有利。在本书中读者还可以发现90年代上海超高层建筑的结构设计中出现了如加强层、转换层、外伸巨型桁架等多种新的结构体系。这些工程所耗钢材不多,而其最大层间水平位移值均能满足相应规定的要求,这些新体系的推广为使用创造了良好的条件。这也是90年代上海高层建筑结构设计一大特点。

90年代高层建筑多种新结构体系的出现,也是与计算技术的发展分不开的。常用的计算程序如TBSA、TAT、SATWE、PMSAP、SAP、ETABS等,上海几个大的设计单位还开发出一批专用程序,计算程序的运用和开发对高层建筑结构设计带来了更大的方便,也促进了高层建筑结构设计水平的提高。

高层建筑出现多种新的结构体系,也与控制水平位移有关。上海地处东海之滨,基本风压

W为0.55kN/m,风荷载值较大。同时上海又属7度抗震区,Ⅳ类场地,地震荷载相应也较大。为了控制高层建筑的水平位移值在规定的限值内,故不同高度的高层建筑要采用不同的抗侧力结构体系。为此在本书各个工程项目中都有结构体系方面的介绍,地震荷载和风荷载方面的取值,以及在地震荷载和风荷载作用下的水平位移计算结果的介绍。从这些工程实例中还可看到,高层建筑高度在150m以下时,绝大部分工程都是地震荷载作用下算得的水平位移值大于风荷载值;而建筑高度250m以上,则风荷载作用下算得的水平位移值,一般都大于地震荷载值。这个规律也可供设计者借鉴。

### 三、试验和研究

高层建筑设计要控制在风荷载和地震水平

力作用下的层间位移和最大位移值。我国对位移控制限值的规定相比国际有关资料而言是较严格的,随着高层建筑高度的增加,这方面的矛盾显得颇为突出。为此,在90年代上海成立了《钢筋混凝土超高层建筑层间位移限值研究》项目课题组,将一幢平面为28.8m×28.8m,总高193m,框筒结构作为原型,截取原型大部分,将框架-筒体按刚度等效的原则合并成框架-剪力墙体系,模型的缩尺比取1/10,混凝土强度等级为C40。经试验得到在正常使用的竖向荷载作用,超高层建筑即使最大层间位移角接近1/500,其墙和柱等主要抗侧力构件不会开裂的可喜成果。该研究成果已进入上海市工程建设规范。可参见《钢筋混凝土高层建筑筒体结构设计规程》(DGJ08-31-2001)的表5.6.3。

表 5.6.3 层间位移角的限值

房屋高度H	≤150m	250m
	$\frac{\Delta u_i}{h}$	1/800

注:对房屋高度为150~250m的筒体结构,其限值可按线性内插法取值。在本书中有个别几幢超高层建筑,层间位移角的控制,已按上

表限值。由于对超高层建筑层间位移角限值的放宽,为上海发展超高层建筑创造了更有利的条件。



## 目 录

## ■ 综 述

## ■ 综 合 楼

- 金茂大厦 / 3
- 明天广场 / 31
- 恒隆广场 / 37
- 浦东国际金融大厦 / 47
- 交银金融大厦 / 63
- 上海国际航运大厦 / 74
- 新世界大酒店 / 79
- 浦东·世界金融大厦 / 85
- 久事大厦 / 92
- 中国保险大厦 / 101
- 新金桥大厦 / 110
- 新建设大厦 / 114
- 仙乐斯广场 / 121
- 上实南洋广场 / 127
- 京银大厦 / 137
- 中国金融大厦 / 142
- 光明大厦 / 155
- 上海民防大厦 / 162
- 巨金大厦 / 170
- 第一百货六合路商业大厦 / 177
- 中国船舶大厦 / 180
- 上海招商局广场 / 187
- 凯旋门大厦 / 200
- 中鑫大厦 / 210
- 新世纪广场 / 217

## ■ 商 务 楼

- 上海环球金融中心 / 225
- 万都中心 / 231
- 森茂国际大厦 / 243
- 不夜城广场 / 250

- 上海 21 世纪大厦 / 258
- 浦东商务中心 / 264
- 世界广场 / 269
- 上海招商局大厦 / 277
- 金帆大厦 / 288
- 浦项广场 / 298
- 上海世界贸易商城 / 302
- 上海期货大厦 / 310
- 上海证券大厦 / 318
- 大上海时代广场 / 325
- 上海实业大厦 / 334
- 新世纪商厦 / 342
- 上海市检察院司法局办公大楼 / 352
- 中国高科大厦 / 359
- 现代建筑设计大厦 / 364
- 中海大厦 / 373

## ■ 宾 馆

- 上海江苏大厦 / 381
- 红塔大酒店 / 388

## ■ 文 教 卫 生

- 东方明珠上海广播电视塔 / 401
- 上海广播电视国际新闻交流中心 / 417
- 上海电视台电视制作综合楼 / 422
- 上海图书馆新馆 / 437

## ■ 住 宅

- 东方剑桥小区 / 445
- 中远两湾城三期工程 / 450
- 中远两湾城二期工程(东块) / 459
- 瑞苑公寓 / 468

## ■ 上海地区几幢高层建筑振动特性实测 / 475

综合楼

上海高层超高层建筑设计  
与施工





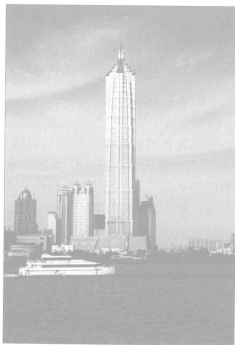
## 金茂大厦

建设单位：上海对外贸易中心股份有限公司

设计单位：美国 SOM 建筑设计事务所

设计顾问：上海建筑设计研究院有限公司

施工总包：上海建工集团总公司



### 一、工程概况

金茂大厦位于上海浦东陆家嘴金融开发区，是一座集五星级酒店和高级办公楼于一体的高层建筑。从 1992 年至 1998 年历时整整 6 年，金茂大厦经历了从选址、方案竞赛到决策、设计、施工的全过程。

金茂大厦方案竞赛最终由美国 SOM 事务所获胜，并受业主委托完成了全部图纸设计，由上海建筑设计研究院有限公司担任当地设计顾问并完成部分施工图的设计。

金茂大厦占地面积 24488m<sup>2</sup>，总建筑面积 289500m<sup>2</sup>，总投资达 5.4 亿美元。金茂大厦总体上由塔楼、裙房和地下室三部分组成。

塔楼地面以上 88 层，总高度为 420.5m，建筑面积为 197938m<sup>2</sup>。塔楼 1~2 层为办公楼大堂；3~50 层为办公标准层，层高 4m；58~85 层为旅馆客房标准层，层高 3.2m，平面呈正方形双轴对称。结构形式采用了钢-混凝土组合结构。居中的混凝土核心筒为主要的抗侧力结构，核心筒四周的 8 根截面为 1.5m×5m 的钢筋混凝土巨型柱和 8 根巨型钢柱承受垂直荷载，整个塔楼在 25 层、51 层

和 87 层三处分别设置占 2 层层高的外伸钢桁架，与 8 根混凝土巨型柱共同组成抗侧力体系，有效地增加了结构抗侧刚度。8 根钢筋混凝土巨型柱的设置同时也确保了塔楼四角的收放自如，满足了建筑立面造型的需要。而占 2 层层高的外伸桁架恰巧设在需占 2 层空间的中间设备层处，如 51~52 层。塔楼办公楼部分标准层处平面尺寸为 52.7m×52.7m，核心筒平面呈八角形，筒内由井字形的钢筋混凝土剪力墙分隔成电梯井道。塔楼的旅馆标准层部分核心筒则取消了核心筒中央部分的剪力墙，从而形成了 30 多层楼高的中庭，给旅馆增添了风采。

裙房部分采用钢框架结构体系，总高 7 层，内有跨越数层的大空间，基本柱网尺寸为 8m×8m。

地下室占满整个基地，共 3 层，总面积 57151m<sup>2</sup>，除部分作为设备用房外，其余均为车库。结构形式均为钢筋混凝土框架。柱网尺寸为 8m×8m，柱基本尺寸为 400mm×500mm。

## 二、基础设计

### (一) 工程概况及场地地基土条件

#### 1. 选址及勘察

上海位于长江三角洲入海口的东南前缘，是国际著名的地处软土地基上的特大城市之一，金茂大厦场地地势平坦，自然地面标高（吴淞口海平面高程，下同）在 3.60~4.00m 左右，金茂大厦场址见图 1。



图 1 金茂大厦场址图

#### 2. 地基土土层组成概述

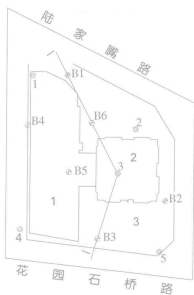
金茂大厦钻孔布置平面见图 2，其中包括标贯、静探、旁压等多种测试内容。综合初勘和详勘两份工程地质勘察报告以及最终岩土工程咨询报告中有关内容，该场地所揭示的地基土组成情况见图 3 和表 1 所示。

#### 3. 地基土物理力学特性

综合初勘和详勘两份工程地质勘察报告以及最终岩土工程咨询报告中有关内容，该场地所揭示的地基土一般物理力学特性见表 2 所示。

#### 4. 地基土条件几点说明

(1) 图 3 和表 1 揭示，作为桩基主要持



1. 裙房(6层) 2. 主楼(88层) 3. 地下室

图 2 钻孔布置平面图

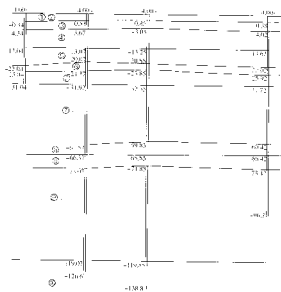


图 3 地基土层剖面 I-I 图

力层的①<sub>2</sub>粉细砂层和②<sub>2</sub>细砂层的厚度较市区其他部分要厚得多，如①<sub>2</sub>层在该场区厚达

表 1 地基土层组成及描述

地质年代	层序	土层名称及描述	厚度 (m)	层顶标高 (m)
全新世 Q4	①	填土, 色杂, 稍湿, 粘土含少量碎屑	0.8~1.4	3.6~4.0
	②	粉质粘土, 褐黄色, 很湿, 可塑~软塑	1.7~3.4	2.5~3.1
	③	淤泥质粉质粘土, 灰色, 饱和, 软塑~流塑, 夹薄层粉砂	3.5~4.5	-0.34~-1.39
	④	淤泥质粘土, 灰色, 饱和, 软塑~流塑, 含少量有机质, 夹薄层粉砂	9.2~10.8	-4.02~-2.94
	⑤	粉质粘土, 灰色, 饱和, 含大量有机质, 夹薄层粉砂	6.1~10.1	-13.90~-12.64
	⑥	粉质粘土, 暗绿色, 很湿, 硬塑~可塑, 含少量有机质, 夹薄层粉砂	2.3~5.0	-23.80~-19.23
上更新世 Q3	⑦ <sub>1</sub>	粉质粘土, 草黄色, 饱和	4.8~8.5	-26.10~-23.85
	⑦ <sub>2</sub>	粉细砂, 草黄至灰色, 饱和, 细粉砂含少量有机质	24.5~35.2	-32.58~-30.42
	⑧	砂质粉土, 灰色, 饱和, 含薄层粉质粘土和薄层粉砂	3.0~11.0	-67.31~-57.11
	⑨ <sub>1</sub>	砂质粉土, 灰色, 饱和, 含少量细砂和粘土	3.0~6.0	-71.81~-63.42
中更新世 Q2	⑨ <sub>2</sub>	细砂, 灰色, 饱和, 夹中粗砂, 含少量有机质	46.0~48.0	-75.49~-66.42
	⑩	粉质粘土, 蓝灰色, 很湿, 硬塑~可塑, 夹薄层细砂	7.5	-119.85~-119.07

24~35m; ⑩<sub>1</sub>层在该场地竟厚达 46~48m, 而且 ⑦<sub>2</sub>层和 ⑨<sub>2</sub>层的土质均十分坚硬, 标准贯入试验  $N_{63.5}$  值一般均大于 50 击。

(2) 在如何正确、合理选择 ⑦<sub>2</sub>层还是 ⑨<sub>2</sub>层作为 88 层主楼桩基持力层这一较复杂和敏感问题中, 按照设计方结合工程特点提出的要求, 通过详细勘察阶段, 进行了大量的室内外试验分析研究工作, 采用了室内固结试验(包括大、小环刀取样对比试验)、现场标准贯入试验、现场静力触探试验以及现场深孔旁压试验等四种方法进行综合分析对比, 进一步提出了可供设计采用的该场地深部地基土层的压缩模量计算参数。

(3) 对该场地地下水埋藏和补给条件、深基坑围护墙入土深度范围内地基土层的渗透性, 进行了大量和较全面的室内外试验分析研究工作, 基本明确了该场地内第 ⑦<sub>2</sub>层以上埋藏的地下水属潜水类型, 主要补给来源为大气降水, 其平均水位标高基本稳定, 约为 3.0m, 第 ⑦<sub>2</sub>层为承压含水层, 其平均水位标高约为 -4.0m; 同时在表 2 所述的地基土一般渗透特性基础上, 进一步提出了可供深基坑工程设计、施工和地下室抗浮稳定性及结构抗浮设计采用的有关地基土

层渗透系数计算参数。

## (二) 主楼桩基持力层及桩型选择

### 1. 主楼结构体系的特点

主楼结构体系的立面及平面图见图 4、图 5 和图 6。

近似估算表明, 传到主楼桩基承台板底面标高处建筑物自重总荷载约为 3000000kN, 在建筑物自重荷载作用下, 按核芯筒结构范围内投影面积计, 平均承台底面总压力要高达 2060kN/m<sup>2</sup>, 即使按外圈布置的巨型柱和角柱外包投影面积计, 平均承台底面总压力也要近 1075kN/m<sup>2</sup>, 金茂大厦主楼是高度为 420.5m、高宽比约为 8:1 的高耸建筑物, 在桩基基础任一方向上两端点发生过大的沉降差或倾斜, 对保证建筑物的垂直度会产生极为严重威胁; 同时由于金茂大厦上部结构核芯筒与外圈 H 型柱之间主要依靠三道伸臂钢桁架相连, 整体竖向刚度在该部位相对较弱, 核芯筒与 H 型柱之间发生过的沉降差, 对抗侧力体系中主要构件外伸钢桁架长期正常工作也是极为不利的, 因此对控制桩基倾斜和沉降差等相对变形值也提出了极高的要求。



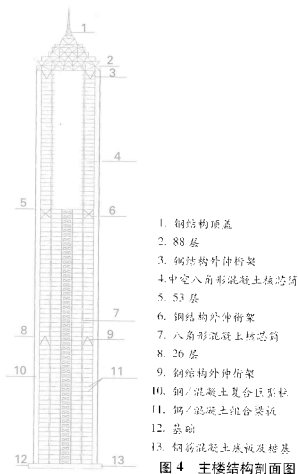


图 4 主楼结构剖面图

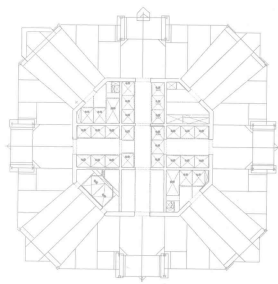
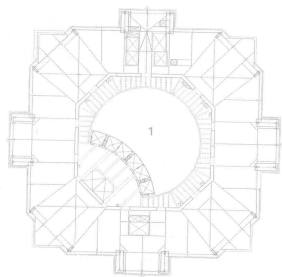


图 5 办公楼标准层平面图



1. 下层大厅

图 6 酒店标准层结构平面图

## 2. 主楼桩基持力层选择

根据上述主楼上部结构体系的特点,对主楼桩基的承载能力及沉降控制标准提出了单桩设计容许承载力至少为 7500kN,桩基最终平均沉降量不大于 100mm 的设计要求。大量的工程实测结果以及工程经验均已说明,桩基的平均沉降量与其各种相对变形值之间存在一定的关系,用控制平均沉降量的方法来控制各种相对变形值是一条切实可行的途径。

根据设计方提出的单桩承载力和平均沉降量要求,在详勘和最终岩土工程咨询报告中,曾假设了几种桩型和规格,对不同桩基持力层时单桩容许承载力和最终平均沉降量进行了预估分析,结果见表 3 和表 4 所示。预估分析结果说明,只有以 ⑨、层为持力层的桩基,才有可能在单桩容许承载力和最终平均沉降量两方面同时满足设计方提出的主楼桩基设计要求,采用 ⑨、层作为桩基持力层同时还可以避免由于 ⑧层和 ⑩、层的压缩变形而使主楼发生长期次固结沉降现象,从桩基的承载能力和沉降变形两方面综合考虑,主楼桩基持力层选择 ⑨、层应当是必要的。



表3 单桩容许承载力预估

桩端标高 (m)	桩型	规格 (mm)	桩端进入的持力层及深度	单桩容许承载力 (kN)
-43	预制混凝土方桩	500 × 500 × 25000	② <sub>2</sub> 层, 7m	2000 ~ 2500
	钢管桩	φ 914 × 25000	② <sub>2</sub> 层, 7m	4000 ~ 4500
-51	钢管桩	φ 914 × 37000	③ <sub>1</sub> 层, 19m	6050 <sup>*</sup>
	钻孔灌注桩	φ 1000 × 37000	③ <sub>1</sub> 层, 19m	5600 <sup>*</sup>
	钻孔灌注桩	1250 × 37000	③ <sub>1</sub> 层, 19m	7050 <sup>*</sup>
-75	钢管桩	φ 914 × 61000	④ <sub>1</sub> 层, 2m	7250 ~ 9550 <sup>*</sup>
	钻孔灌注桩	φ 1000 × 61000	④ <sub>1</sub> 层, 2m	9050 <sup>*</sup>
	钻孔灌注桩	φ 1250 × 61000	④ <sub>1</sub> 层, 2m	11500 <sup>*</sup>

注: \* 按《上海市地基基础设计规范》(DBJ08-11-89)有关条文规定预估值。

表4 桩基最终沉降量预估

桩端标高 (m)	桩端持力层	预估沉降量 (mm)
-43	② <sub>2</sub>	100 ~ 150 <sup>*</sup>
-51	③ <sub>1</sub>	160 <sup>*</sup>
-75	④ <sub>1</sub>	50 ~ 110 <sup>*</sup>

注: \* 按《上海市地基基础设计规范》(DBJ08-11-89)有关条文规定结合上海地区工程经验预估值。

### 3. 桩型选择及现场试验

美国 SOM 建筑设计事务所根据国外有关工程经验,曾提出过四种可供选择的桩型,其中包括:

- (1) 直径为 1000~1500mm 的桩端后压浆钻孔灌注桩;
- (2) 直径为 950~1100mm 的开口钢管桩;
- (3) 预制钢筋混凝土方桩或 PHC 管桩;
- (4) 截面为 1200mm×3000mm 的现场成槽灌注填桩。

后经过上述主楼桩基持力层选择方面的验算分析工作,并在完成部分钢管桩的现场沉桩试验后,经多方反复协商研究后决定,主要针对开口钢管桩一种桩型的 2 根试桩进行现场沉桩试验和垂直静荷载试验,以及对 3 根锚桩进行采用送桩杆方法的沉桩试验。2 根试桩及锚桩为外径 914.4mm、壁厚为 20mm、桩身钢材屈服强度为 355N/mm<sup>2</sup> 和桩端标高为 -75m 的开口钢管桩。

试验的主要内容和目的有以下几个方面:

- (1) 验证承担试验任务单位提出的沉桩总体施工方案,通过沉桩试验判断沉桩可能性,特别是穿越③<sub>1</sub>层的可能性。
- (2) 考虑到实际工程桩桩顶均位于地面以下 18m 深度,验证采用送桩杆方法沉桩施工的可能性,并判断沉桩过程中桩对周围土体的挤压效应。
- (3) 按设计要求在现场地面上进行垂直静载荷试验,并采用多种试验方法确认设计方最终所取用的单桩承载力。根据设计方的现场试验要求,采用了美国 ASTM D1143-81 规定的循环加荷试桩方法和《上海市地基基础设计规范》(DBJ08-11-89)规定的快速试桩方法,对同一根试桩均先后进行了两次试验,两次试验间隔时间为两星期。

#### 4. 现场试验结果及分析

(1) 图 7 所示试桩 ST-1 和 ST-2 在沉桩过程中贯入阻力与深度之间的关系说明,现场