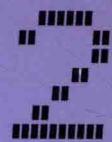


天津市超限高层建筑工程 专项抗震设防实例集

主编 赵建设 于敬海 丁永君



天津大学出版社
TIANJIN UNIVERSITY PRESS

天津市超限高层建筑工程专项 抗震设防实例集 2

图书在版编目 (CIP) 数据

天津市超限高层建筑工程专项抗震设防实例集. 2/赵建设, 于敬海, 丁永君主编. —天津: 天津大学出版社, 2014.4

ISBN 978-7-5618-5036-7

I. ①天… II. ①赵… ②于… ③丁… III. ①高层建筑—抗震结构—结构设计—建筑实录—天津市 IV. ①TU973

中国版本图书馆CIP数据核字 (2014) 第079048号

策划编辑 韩振平

责任编辑 韩振平

装帧设计 谷英卉

出版发行 天津大学出版社

出版人 杨欢

地址 天津市卫津路92号天津大学内 (邮编: 300072)

电话 发行部: 022-27403647

网址 publish.tju.edu.cn

印刷 北京华联印刷有限公司

经销 全国各地新华书店

开本 210mm×285mm

印张 26

字数 842千

版次 2014年10月第1版

印次 2014年10月第1次

定价 80.00元

《天津市超限高层建筑工程专项抗震设防实例集》编委会

编审委员会主任：窦华港

编审委员会副主任：韩培俊 林桐

专家委员会：林 桐 凌光荣 文礼彬 王承春 赵曼旭

黄兆维 王军霞 左克伟 陆培毅

编审委员会：赵建设 于敬海 丁永君 向天游 张锡治 郭红云

安海玉 王湘安 罗 迪 孟祥良 陈 昆 贾 莉

主 编：赵建设 于敬海 丁永君

参 编：向天游 贾 莉 曹建伟 费添慧 李敬明 张 璐

张 倩 单玉坤 徐洪茂 曹建锋 王 燕 赵珊珊

李 端 付春兵 李路川 姜 旋 陈俭连 王少华

赵 腾 王政凯 张芃芃 张 潮 马 健 蔡巍巍

赵明阳

序

地震是严重威胁人类安全的自然灾害，具有突发性强、破坏性大、危害面广、难以预测等特点。天津是我国地震较为活跃的地区之一，地处河北平原地震带、张家口—渤海地震带、郯庐地震带的交接部位，地质构造和水文条件复杂，断裂活动较强，历史上曾遭受 10 次影响烈度 5 度以上的地震破坏，其中 1976 年 7 月 28 日河北唐山的 7.8 级地震及 1976 年 11 月 15 日天津宁河县的 6.9 级地震，对市区的影响均达到 8 度。因此，建筑抗震设防工作事关人民的生命和财产安全。

近年来，天津市的超高层建筑及复杂建筑不断涌现，全市已累计建设 161 个超限高层建筑工程项目，建筑面积约 1400 万平方米，包括高度超过 300 米的津塔项目、天津 117 大厦、中钢天津响螺湾项目、天津周大福滨海中心发展项目等工程，项目类型涵盖商业建筑、酒店建筑、高层住宅、交通站房、文化医疗建筑等。为确保超限高层建筑的抗震安全性，天津市城乡建设和交通委员会按照住房和城乡建设部的要求，组织全市勘察院、设计院、高等院校、科研院所的专家组成了“超限高层建筑工程专项抗震设防审查委员会”（以下简称“超限审查委员会”），根据国家建设主管部门下发的《超限高层建筑工程抗震设防专项审查技术要点》及天津市地方法律法规，严格执行相关规定，精心组织审查超限项目。超限审查委员会根据建筑高度、不规则程度、结构体系等设计内容为建设投资方确定技术合理、经济适用的结构方案和适宜的抗震性能目标，既保证结构安全又兼顾工程造价，促进了建筑技术的进步。通过近 10 年来超限高层建筑工程专项审查工作的开展，天津的工程技术人员积累了丰富的设计经验。

随着天津滨海新区的开发开放，建筑行业将迎来更大的发展机遇。为进一步提高天津城市建设水平，确保超限高层建筑的抗震安全性，天津市城乡建设和交通委员会组织有关人员编辑出版《天津市超限高层建筑工程专项抗震设防实例集》（1～4），该实例集总结了典型的82项超限建筑工程的技术特点，凝结了国内上百家知名设计机构的设计人员及审查专家的智慧 and 汗水，展现了超限高层建筑的抗震新技术，对天津及相似地区的超限高层建筑具有借鉴意义。此书的出版发行必将对天津市超限高层建筑抗震设计水平的提高起到有力的推动作用。在此，非常感谢国内外参与天津市超限高层建筑工程的建设者为天津城市建设做出的突出贡献，也感谢超限审查委员会的专家奉献出如此精彩的图书，让我们共同为建设美丽天津而努力！



2014年5月

目 录

综合办公建筑（含办公楼）

天津 117 办公楼	2
天津周大福滨海中心塔楼	37
津塔项目	66
大岛写字楼及酒店工程	82
云滨大厦	98
中华文化会馆 A04 地块工程	111
金唐大厦	129
天津盈信金融大厦	141
中国天辰科技园天辰大厦	160
金座大厦（力神大厦）	180
远洋大厦二期工程	197
宝利长江道项目 1 # 楼	213
靠山楼	228
天津滨海新区于家堡金融区起步区一期 03-26 地块工程	245
天津滨海新区于家堡金融区起步区一期 03-22 地块工程	268
天津富力城南昌路项目（天津富力中心）	284
天津滨海华贸中心	301
天津滨海新区于家堡金融区起步区一期 03-25 地块工程	316
中慧熙元广场（写字楼）	331
茂业大厦	347
天津昆仑中心	365
天津滨海新区于家堡金融区起步区项目 03-16 地块工程	379
编后记	400

综合办公建筑 (含办公楼)

天津“L”办公楼



项目设计时间：2010 年 10 月

一、工程概况

1. 工程简介

本项目位于天津市高新区地块发展项目之中央商务区。拟建的高银 117 大厦是一幢以甲级写字楼为主，附有六星级豪华商务酒店及相关设施的大型超高层建筑，总建筑面积约 37 万 m²，建筑高度约为 597 m，共 117 层，有 3 层地下室，塔楼首层至 93 层为甲级写字楼，94 层至顶层为六星级豪华商务酒店，其中部分楼层用作避难层或机电设备用房。

本工程塔楼外形随高度变化，各层周边建筑轮廓尺寸略有不同，楼层平面为正方形，周边楼板局部悬挑形成建筑外轮廓，楼层平面随着斜外立面逐渐变小，塔楼首层建筑平面尺寸约 65 m×65 m（幕墙边），渐变至顶层时平面尺寸约 45 m×45 m。中央混凝土核心筒为矩形，平面尺寸约 37 m×37 m，主要用作高速电梯、设备用房和服务用房。

2. 设计依据

1) 设计标准

设计依据国家和地方的相关规范及标准，除此之外，还参考了以下国际规范：

- ①混凝土结构设计规范（英国）BS 8110；
- ②混凝土结构设计规范（欧洲）EC 2：1991；
- ③钢结构设计规范（英国）BS 5950；
- ④国际建筑规范（美国）IBC 2003；
- ⑤房屋抗震加固设计标准及注释 FEMA 356；
- ⑥混凝土房屋的抗震评估与翻新 ATC 40。

2) 基本设计参数

结构基本设计参数见表 1-1。

表 1-1 基本设计参数

参数		取值	参数	取值
设计基准期		50 年	基本风压	按 100 年一遇取 0.60 kN/m ²
设计使用年限		50 年（耐久性 100 年）	地面粗糙度	B 类
建筑结构安全等级		一级	基本雪压	0.40 kN/m ²
抗震设防类别		乙类	抗震设防烈度	7 度
地基基础设计等级		甲级	场地类别	III 类
结构抗震等级	剪力墙	特一级	设计地震分组	第一组
	巨型角柱	特一级	设计基本地震加速度	0.15 g
周期折减系数		多遇地震：0.85 罕遇地震：1	阻尼比	弹性分析：0.035 弹塑性分析：0.05
特征周期		多遇地震：0.6（s） 罕遇地震：0.65（s）	结构重要性系数	1.1

抗震设计规范反应谱长周期段只规定至 6 s，对于周期大于 6 s 的结构，根据规范要求，地震影响系数需作专门研讨。本工程的自振周期约为 9.0 s，由于较长自振周期的超高层建筑对长周期的地震动较为敏感，对抗震设计反应谱的选择以及对长周期段参数的确定是本工程需要研究和明确的内容。

根据 2009 年 1 月 20 日方案设计研讨会上形成的意见，同时参考上海市地方标准《建筑抗震设计规程》（DGJ 08—9—2003）及相关研究成果，本工程设计将根据新抗震规范，并在其基础上将直线倾斜下降段从 6 s 延长至 10 s。

3) 设计荷载参数

设计荷载参数见表 1-2。



表 1-2 楼面、屋面荷载标准值

功能分区	活荷载 (kN/m ²)			附加恒荷载 (kN/m ²)		
	活载	规范要求活载	隔墙	吊顶	机电设备	找平层
不上人屋面 (无设备)	0.5	0.5	—	0.2	0.5	3.6
上人屋面 (无设备)	2.0	2.0	—	0.2	0.5	3.6
酒店	2.0	2.0	2.0 或按实际 布置计算	0.2	0.5	1.2
办公区 / 会议室 / 多功能室	*3.0	2.0	1.0	0.2	0.35	0.5 (架空地台)
交易楼层	4.0	—	1.0	0.2	0.5	0.5 (架空地台)
茶水间、吸烟室	2.5	—	—	0.2	0.5	1.2
商业楼、宴会厅	3.5	3.5	1.0	0.2	0.5	1.2
储物室	5.0	5.0	—	—	0.5	1.2
走道 / 疏散楼梯 / 避难层	3.5	3.5	—	—	0.5	1.2
卫生间	2.5	2.5	1.0	0.2	0.5	1.2 (无回填)
餐厅厨房	4.0	4.0	—	—	0.5	3.6
食堂 / 餐厅	2.5	2.5	—	0.2	1.0	1.8
首层大堂	*5.0	2.5	—	0.2	0.5	1.8
电梯大堂 / 电梯转换层	*3.0	2.5	—	0.2	0.5	1.8
会所 / 健身房	4.0	4.0	—	0.2	0.5	1.2
空调机房、 电梯机房	7.0 或按实际 设备重量	7.0	—	—	0.5 (不含基座)	1.2
发电机房、 水泵房、变配电	10.0 或按实 际设备重量	7.0	—	—	0.5 (不含基座)	1.2
其他设备用房	7.0 或按实 际设备重量	7.0	—	—	0.5 (不含基座)	1.2
停车库、小型车车道 (室内)	4.0	4.0	—	—	0.5	1.2
停车库 (货车)	*15.0	4.0	—	—	0.5	1.2
上、落货区	*15.0	4.0	—	—	0.5	1.2

注：打“*”的高于规范要求。

4) 风荷载

根据《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2001) (2006 年版)，天津市风荷载根据以下参数计算：

10 年一遇基本风压 ω_0 0.3 kN/m²

50 年一遇基本风压 ω_0 0.5 kN/m²

100 年一遇基本风压 ω_0 0.6 kN/m²

地面粗糙度类别 B 类

由于高银 117 大厦高度大于 200 m，且作为超高耸和细柔的结构，风荷载及响应的大小直接影响到 117 大厦的建筑成本及用户之舒适度，117 大厦之风荷载采用风洞试验确定。

初步风洞试验已于 2009 年在汕头大学完成。初步试验采用高频底座测力天平研究 (HFFB) 进行，并配以规范风速、风参数、风梯、周边建筑群和地形环境及刚性模型作初步测试。

为确保高银 117 大厦结构设计安全可靠、经济合理，业主委托汕头大学进行了风气候分析，得到了本场地真实的风剖面数据。由于各风洞实验室使用不同的试验仪器及分析方法，为了保证风洞试验结果的合理性及安全性，对 400 m 以上建筑物，一般在不同的风洞试验单位进行最少一次对比试验，确保风洞试验能真实反映实际情况。比如 420 m 的香港国际金融中心、490 m 的香港环球贸易中心及 432 m 的广州西塔等项目都进行了对比试验。因此业主委托英国 BMT Fluid Mechanics Ltd. 公司 (下称“BMT”) 进行了独立风洞测试，以确保设计使用的风荷载可靠及合理。汕头大学及 BMT 公司已于 2009 年 9 月完成

高频测压 HFPI 风洞试验, 为塔楼结构设计提供了更准确的风力数据, 其试验模型见图 1-1。两个单位分别得到的风荷载数据吻合良好。

在 2010 年 6 月 8 日于天津举行结构风工程设计专家研讨会上, 专家组对风工程设计使用参数及分析结果表示认同, 同时建议综合考虑按规范的基本风压和参数计算的风荷载。

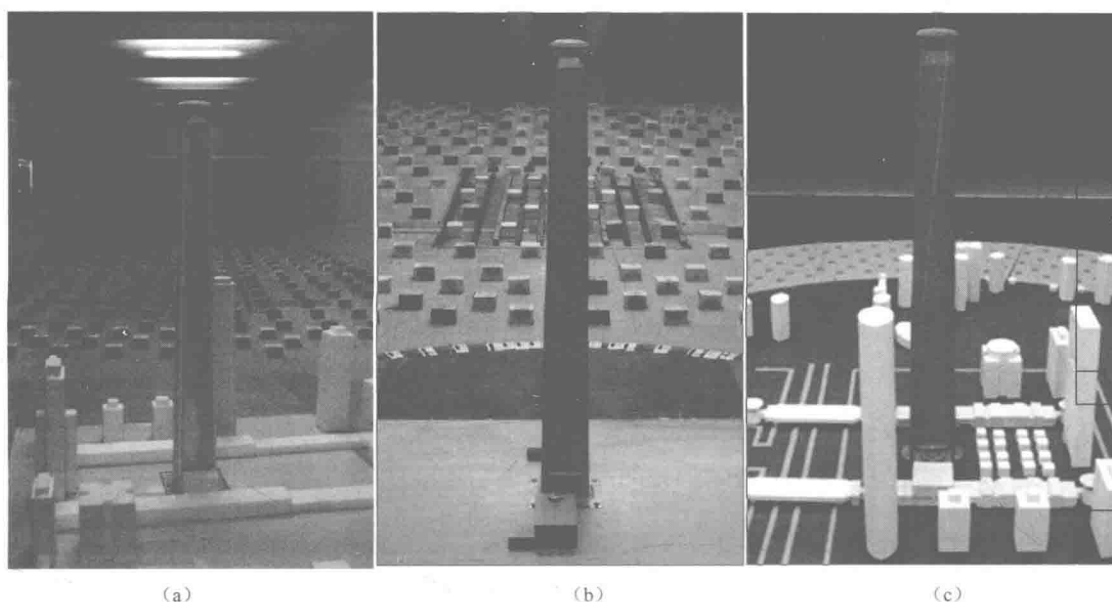


图 1-1 风洞试验

(a) 汕头大学初步风洞试验模型 (高频力天秤) (b) 汕头大学详细风洞试验模型 (高频测压) (c) BMT 公司详细风洞试验模型 (高频测压)

(1) 阻尼比

《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2001) (2006 年版) 对于风荷载计算时结构阻尼比对钢结构取 0.01 (有填充墙的钢结构取 0.02), 混凝土结构取 0.05。参考新高规征求意见稿 (修订第三稿) 第 11.3.6 节, 抗风设计时, 阻尼比可取为 0.02 ~ 0.04。由于高银 117 大厦结构高度较高, 分析采用风气候分析的风剖面时, 阻尼比取值 0.02。

计算舒适度时的阻尼比按《高层民用建筑钢结构技术规程》(JGJ 99—98) 第 5.5.1 条文说明中“横风向振动的临界阻尼比一般可取 0.01 ~ 0.02, 视具体情况选用”作为依据, 阻尼比取值 0.015。

高银 117 大厦为钢—混凝土混合结构体系, 综合上述国家标准、规程的相关要求, 本工程计算阻尼比取值如下:

风荷载作用 0.02 (采用风气候分析风速)

风振动速度 0.015

(2) 风荷载结果对比

由于 117 塔楼高达 600 m 且高宽比大, 横风向的动力效应特别显著, 对结构设计及舒适度影响不小, 因此除了在项目早期以初步风洞试验评估风效应外, 还进行了详细风洞试验以取得更可靠的风力分布, 更进行了独立第三方的结果对比, 保证设计安全、合理、可靠及经济。

包括汕头大学风洞实验室及 BMT 公司的两间风洞实验室至今已进行了 3 次风洞试验, 以确定高银 117 塔楼的风荷载及舒适度, 提供了结构设计的依据。

各风洞试验结果基本吻合, 且实验的误差都在可容许范围之内。

①汕头大学风洞实验室的初步风洞试验 (HFFB) 与详细风洞试验 (HFPI)。

汕头大学的初步风洞试验 (HFFB) 和详细风洞试验 (HFPI) 结果相近, 在同样的分析基础下提供的风力数据基本相同, 合乎工程设计需要。其结果见图 1-2。

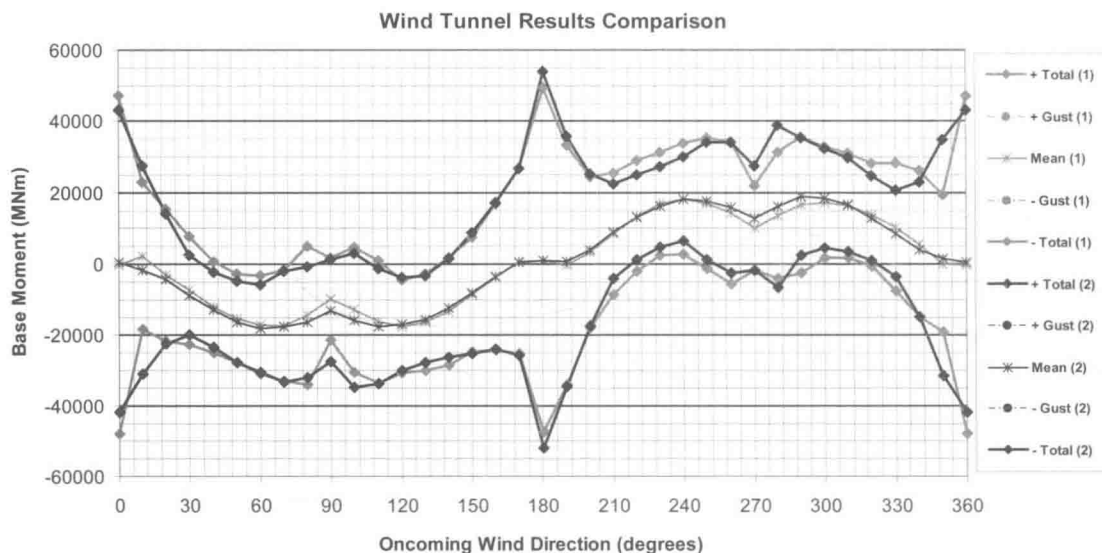


图 1-2 汕头大学初步风洞试验（红）与详细风洞试验（蓝）的风倾覆力矩结果（只供比较）

②汕头大学风洞实验室及 BMT 公司的详细风洞试验（HFPI）。

两家风洞实验室的详细风洞试验结果吻合（在不同风向角度的风倾覆力矩见图 1-3），为确立 117 塔楼风荷载提供了依据。

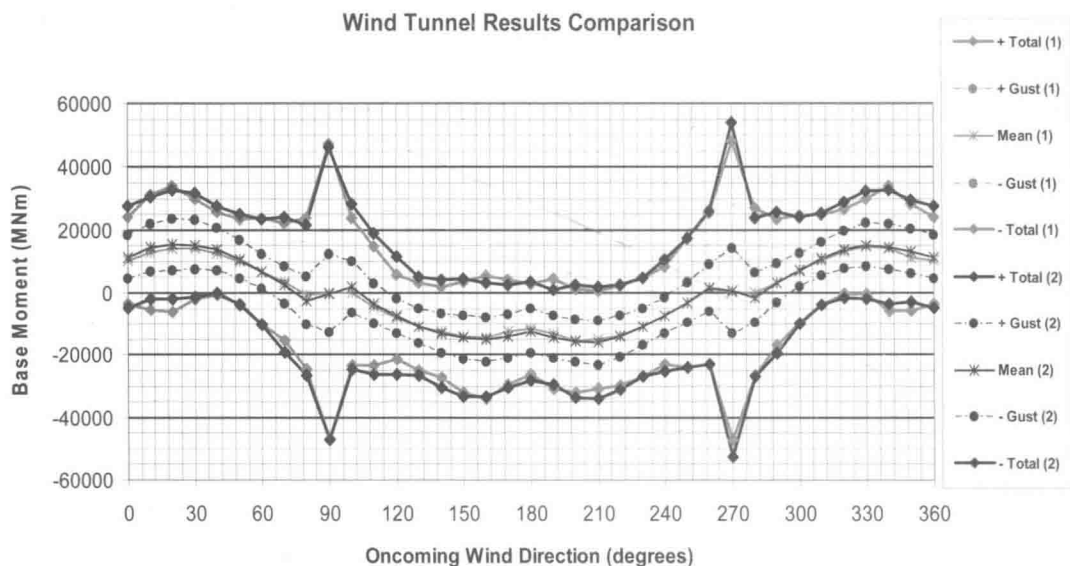


图 1-3 汕头大学风洞实验室（红）与 BMT 公司详细风洞试验（蓝）的风倾覆力矩结果（只供比较）

汕头大学风洞实验室及 BMT 公司的详细风洞试验结果提供了 117 塔楼设计用的风力资料，为结构设计提供了可靠的基础。

③汕头大学风洞试验最终报告与按规范参数计算风荷载的比较。

根据 2010 年 6 月 8 日风工程专家会的建议，我们比较了汕头大学风洞试验结果最终报告与按规范参数计算的风荷载数据（其中 X 轴为东向，Y 轴为北向），见表 1-3。

表 1-3 汕头大学风洞试验与按规范参数计算的数据对比

重现期 100 年	沿 X 轴向峰值剪力 (MN)	沿 Y 轴向峰值剪力 (MN)	绕 X 轴峰值倾覆力 矩 (MN·m)	绕 Y 轴峰值倾覆力 矩 (MN·m)	绕 Z 轴基础 峰值扭矩
风洞试验最终报告 (基本 风压 0.52 kN/m ² , 阻尼比 2%, 峰值因子按实际计 算)	86.138 (0°)	-77.944 (340°)	29 163 (340°)	35 805 (0°)	312.74 (340°)
按规范参数取值 (基本 风压 0.6 kN/m ² , 阻尼比 3%, 峰值因子 2.2)	61.804 (0°)	-74.782 (340°)	27 125 (340°)	25 856 (0°)	267.93 (340°)
重现期 50 年	沿 X 轴向峰值剪力 (MN)	沿 Y 轴向峰值剪力 (MN)	绕 X 轴峰值倾覆力 矩 (MN·m)	绕 Y 轴峰值倾覆力 矩 (MN·m)	绕 Z 轴基础 峰值扭矩
风洞试验最终报告 (基本 风压 0.45 kN/m ² , 阻尼比 2%, 峰值因子按实际计 算)	67.727 (0°)	-69.150 (340°)	25 908 (340°)	28 173 (0°)	273.51 (340°)
按规范参数取值 (基本 风压 0.5 kN/m ² , 阻尼比 3%, 峰值因子 2.2)	48.325 (0°)	-762.822 (340°)	22 790 (340°)	20 261 (0°)	224.71 (340°)

由表 1-3 可见汕头大学风洞实验室的最终风荷载结果较按规范基本风压和规范参数的计算风荷载要大。根据风工程专家建议综合考虑两套数据, 按照详细风洞试验的最终报告的风力数据进行 117 大厦的结构设计。由于初步设计阶段结构动力特性尚有一定调整, 本工程设计所采用的最终风荷载, 将在施工图设计阶段根据最终计算模型结果作必要的微调。

(3) 结构设计采用的基本风压重现期

根据《高层建筑钢—混凝土混合结构设计规程》CECS 230: 2008 第 5.1.2 条第二款: 风荷载应按现行国家标准《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2001) (2006 年版) 规定取值。对于特别重要或对风荷载比较敏感的高层建筑混合结构, 承载力计算时, 基本风压应按 100 年重现期的风压值采用; 位移计算时, 基本风压可按 50 年重现期的风压值采用。

根据以上条文规定, 塔楼整体位移角控制将采用 50 年一遇风压控制, 而构件强度则采用 100 年标准进行和校核。

3. 材料

1) 混凝土

结构构件所选用之混凝土强度等级将不低于 C30, 最高用到 C70, 根据《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2002) 选择混凝土材料的参数。

2) 钢筋、型钢

钢筋材料应符合《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2002) 的要求, 主要型号为 HPB235、HRB335、HRB400 级。结构用钢采用标准钢材, 其各项性能指标应满足《钢结构设计规范》(GB 50017—2003) 的要求, 主要型号有 Q235、Q345、Q345GJ、Q390、Q390GJ、Q420 钢。

二、场地工程地质条件和基础设计

1. 场地工程地质条件

1) 土层分布

场地土层分布情况见表 1-4。



表 1-4 土层分布表

层序	土层名称及描述	层顶板高程 (m)	层厚 (m)
① ₁	杂填土	1.45 ~ 3.69	0.40 ~ 4.70
① ₂	素填土		0.30 ~ 5.50
② ₁	粉质黏土	-3.55 ~ 2.02	0.40 ~ 4.60
② ₂	粉土		0.40 ~ 2.80
③ ₁	粉质黏土	-5.55 ~ -1.76	0.60 ~ 7.10
③ ₂	粉土		0.90 ~ 6.80
③ ₃	粉砂		0.40 ~ 7.90
④	粉土	-16.65 ~ -10.06	0.40 ~ 7.30
⑤ ₁	粉质黏土	-19.04 ~ -14.60	0.40 ~ 5.70
⑤ ₂	粉土		0.30 ~ 7.50
⑥ ₁	粉质黏土	-23.86 ~ -18.09	0.80 ~ 9.70
⑥ ₂	粉土		0.30 ~ 4.60
⑦ ₁	粉质黏土	-31.35 ~ -24.66	0.20 ~ 8.50
⑦ ₂	粉砂		0.70 ~ 8.80
⑦ ₃	粉土		0.60 ~ 10.20
⑦ ₄	粉质黏土		2.00 ~ 13.50
⑦ ₅	粉砂		0.40 ~ 1.68
⑧ ₁	粉质黏土	-53.88 ~ -47.80	4.30 ~ 18.60
⑧ ₂	粉砂		0.50 ~ 4.00
⑨ ₁	粉质黏土	-69.04 ~ -63.65	2.60 ~ 10.00
⑨ ₂	粉土		0.20 ~ 5.50
⑩ ₁	粉质黏土	-77.31 ~ -70.90	0.40 ~ 1.70
⑩ ₂	粉土		0.60 ~ 7.60
⑩ ₃	粉砂		0.50 ~ 6.00
⑩ ₄	粉质黏土		0.50 ~ 10.20
⑩ ₅	粉砂		1.00 ~ 6.30
⑪ ₁	粉质黏土	-102.95 ~ -98.86	6.20 ~ 12.10
⑪ ₂	粉质黏土		3.20 ~ 8.40
⑫ ₁	粉砂	-117.85 ~ -113.61	3.20 ~ 6.90
⑫ ₂	粉质黏土		3.80 ~ 11.70
⑫ ₃	粉砂		0.50 ~ 3.80
⑬ ₁	粉质黏土	-133.48 ~ -127.44	1.20 ~ 6.80
⑬ ₂	粉土		0.60 ~ 7.20
⑬ ₃	粉砂		0.40 ~ 6.20
⑭ ₁	粉质黏土	-143.55 ~ -137.09	3.00 ~ 17.90
⑭ ₂	粉质黏土		2.60 ~ 5.80
⑮ ₁	粉质黏土	-161.25 ~ -158.81	14.60 ~ 21.40
⑮ ₂	粉砂		1.20 ~ 1.80
⑮ ₃	粉质黏土		0.80 ~ 17.00

2) 水文地质条件
水文地质情况见表 1-5。

表 1-5 水文地质表

层位	岩性	分布情况	地下标高分布	厚度	静止水位埋深 (m)	静止水位标高 (m)
第一层	粉砂和粉土	普遍分布	17 m 以上	约 19 m (平均)	6.40 ~ 7.17	-4.73 ~ -3.60
第二层	粉砂	普遍分布	30 ~ 39 m	约 3.7 m (平均)	6.99 ~ 7.52	-4.89 ~ -4.36
第三层	粉砂	透镜状分布	50 ~ 56 m	约 5 m (最大)	6.25 ~ 6.90	-4.09 ~ -3.44
第四层	粉砂	透镜状分布	65 ~ 70 m	约 2 m (最大)	7.88 ~ 8.21	-5.44 ~ -5.11
第五层	粉砂	普遍分布	89 ~ 105 m	约 11.4 m (平均)	11.6 ~ 11.8	-9.06 ~ -8.81

3) 场地抗震性能

根据勘察所取得的资料分析,本场地埋深 20.0 m 范围内分布有粉土②₂层、粉土③₂层、粉砂③₃层及粉土④层,依据国家标准《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2001)采用标准贯入试验法对其进行分析判别,液化分析判别结果表明,在地震烈度为 7 度且地下水位按接近自然地面的不利条件考虑时,本场地天然沉积的地基土层不会发生地震液化。

2. 基础设计

本工程采用钻孔灌注桩方案,并采用桩底及桩侧后压浆技术以提高单桩承载力并控制沉降。根据北勘院 2008 年 8 月 29 日提交的详细岩土工程勘察报告,设计人员对钻孔灌注桩方案进行了初步研究,确认采用桩侧与桩底后压浆技术以加强桩与土层之间的摩阻力和端阻力,并同时以其作为控制沉降的一种手段。桩直径初步定为 1 000 mm,梅花形布桩,桩与桩的中心距为 3 m,桩身使用高强度混凝土 C50。岩土工程勘察报告建议采用⑩_s或⑫_i粉砂层作为桩基持力层。由于塔楼为超高层,对单桩承载力与沉降量的要求都非常严格。按初步计算结果,因天津地层有明显的粉砂、粉质黏土、粉土互层的特点,桩基沉降量将控制桩基设计方案。

由于场地存在地下承压水,桩基础必须于靠近地面处施工,加上持力层⑩_s层/⑫_i层的埋置深度较深,有效桩长 76 m/96 m 的桩基施工深度达到 100 m/120 m,而当地钻孔灌注长桩经验较少,所以对施工工艺的要求极高。为此,进行了两组破坏性试桩工程,其中第一组除测试以⑩_s层作持力层的基桩外两根),也测试以⑫_i层作持力层的基桩(两根),均采用桩侧及桩底后压浆,目的是取得更具体的桩基设计与施工参数,从而最终确定桩基方案。该组试桩工程的静载试验结果表明,所有试验桩均未在最大荷载 42 000 kN 时发生破坏。为了进一步确定不同后压浆状态下的单桩竖向承载力,现场进行了第二组试桩工程,试验桩由四根有效长度为 76 m 的钻孔灌注桩组成,试验桩持力层均位于⑩_s层。四根试验桩均采用桩底后压浆,其中 S1、S2 两根采用桩侧后压浆,S3、S4 两根未采用桩侧后压浆。试验最大荷载为 42 000 kN 或压至破坏。第二组试桩工程已于 2009 年 12 月底完成。除 S4 号试桩在单桩竖向抗压静载荷试验第二循环中压至 39 000 kN 时发生破坏以外,其余试验桩均压至最大荷载 42 000 kN 且未破坏。

综合两组试验桩结果,可知单桩承载力的强度应由桩身强度控制。基于场地条件,考虑试验桩的实际直径与设计直径相比稍有扩大和双护筒的实际效能,在承载力取值时适当考虑必要的折减,同时考虑上部结构在基础面积上不同荷载的分布情况,设计最终选取⑩_s粉砂层作为桩基持力层,桩端全断面进入持力层不小于 2 倍桩径,采用三种不同钢筋配置的桩型,有效桩长均为 76.5 m,施工桩长约 100 m,桩径 1 000 mm。

三种不同钢筋配置的基桩地平面布置是基于土与基础共同作用的反力分析结果确定的,其中第一和第二种桩型采用桩侧后压浆,第三种桩型未采用桩侧后压浆,三种桩型均采用桩底后压浆。

三、结构体系与超限设计

1. 结构体系

117 塔楼高 597 m,大大超过中国高层建筑设计规范限值,为超 B 级高度的建筑。塔楼地面以上 117 层,



地面以下 3 层。其中 1 ~ 93 层为办公层, 94 层及之上是酒店及餐饮层, 周边有幕墙结构包裹。结构平面布局呈正方形, 其尺寸沿竖向逐渐内收, 办公层平面边长由 65 m 逐渐收进至 50 m, 酒店层平面边长则由 50 m 收进至 45 m。结构平面长宽比为 1:1, 钢筋混凝土核心筒位于结构正中, 整体结构布置规则、对称, 无凹进。

* 本工程采用了多重结构抗侧力体系承担风和地震产生的水平作用, 该体系分别由钢筋混凝土核心筒, 带有巨型支撑筒、由巨型框架构成的周边结构, 构成了多道设防的结构体系, 提供必要的侧向刚度, 共同抵抗水平地震及风荷载。其中, 巨型支撑筒和核心筒占主要作用, 见图 1-4、图 1-5。

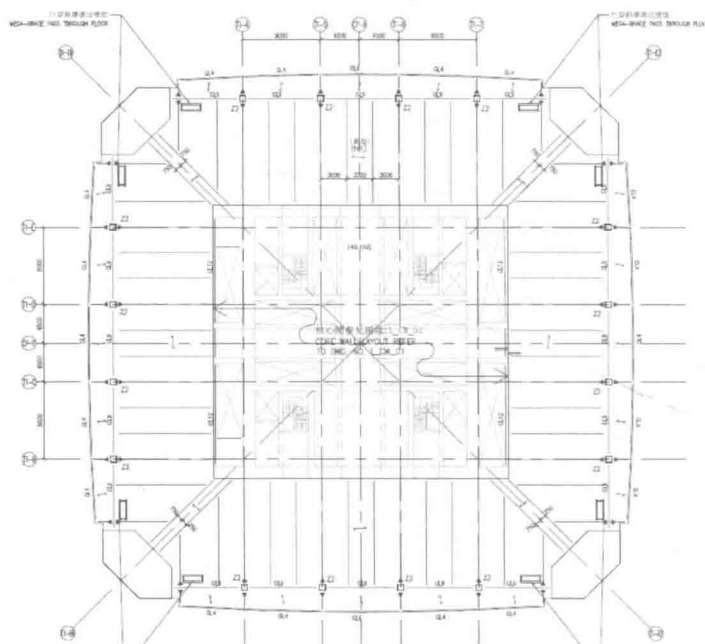


图 1-4 典型楼层平面布置图

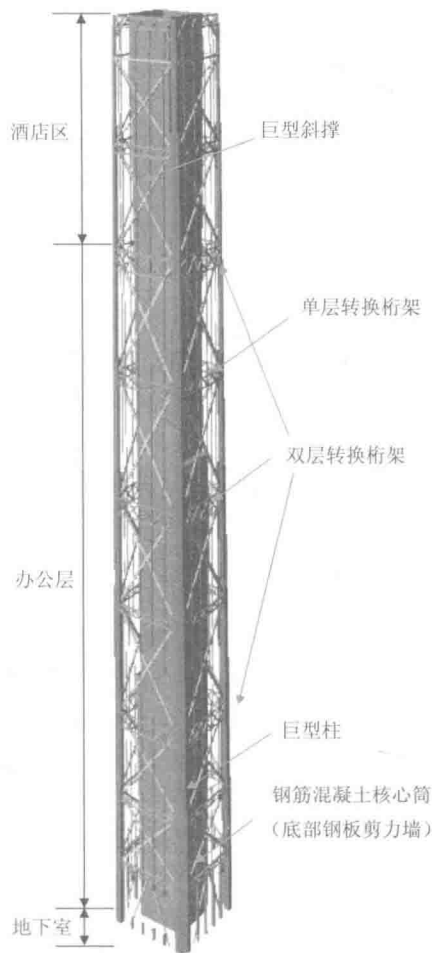


图 1-5 主体结构体系

1) 核心筒

核心筒从承台面向上伸延至大厦顶层, 贯通建筑物全高, 容纳了主要的垂直交通和机电设备管道, 并承担竖向及水平荷载。核心筒平面基本呈正方形, 位置居中, 质心与刚心基本一致。底部尺寸为 34 m×31.5 m, 随着左右两侧墙肢的相继收进, 核心筒于 67 层完全呈现正方形, 且由此至顶基本形成双轴对称的布局。

考虑结构顶部区域主要由外框提供结构刚度, 核心筒周边墙体厚度由 1 400 mm 从下至上逐步均匀收进至顶部 300 mm; 筒内主要墙体厚度则由 600 mm 逐渐内收至 300 mm。核心筒墙肢间典型连梁高度为 700 mm, 洞口平面分布规则、各片墙肢分布均匀, 洞口竖向布置规则、连续、无交错。

塔楼核心筒采用内含钢骨(钢板)的型钢混凝土剪力墙结构, 混凝土刚度大, 耐火性良好, 初始造价和后期维护的费用都较低。核心筒混凝土材料全高采用 C60 高强混凝土, 在保证一定延性的前提下, 提高了构件抗压、抗剪承载力, 有效降低了结构自重及地震质量。

底部加强区高度取至建筑第 14 层, 高度约 70 m。为改善底部墙体轴压比、提高钢筋混凝土的延性、