



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

天津市超限高层建筑工程专项 抗震设防实例集 4

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. 4/赵建设, 于敬海, 丁永君主编. —天津: 天津大学出版社, 2014.4

ISBN 978-7-5618-5037-4

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079046号

策划编辑 韩振平
责任编辑 郭 颖
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 20.5
字 数 656千
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作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

商业建筑

天津滨海新区于家堡金融区起步区一期地块 03-21 工程塔楼	2
中钢天津响螺湾项目	20
天津周大福滨海中心发展项目	41

酒店建筑

天津津门酒店	60
京基·天颐津城酒店	78
天津国际金融会议酒店	96
天津开发区会展酒店	112
天津万达中心五星级酒店	130
天津现代城 B 区酒店塔楼及裙房	148

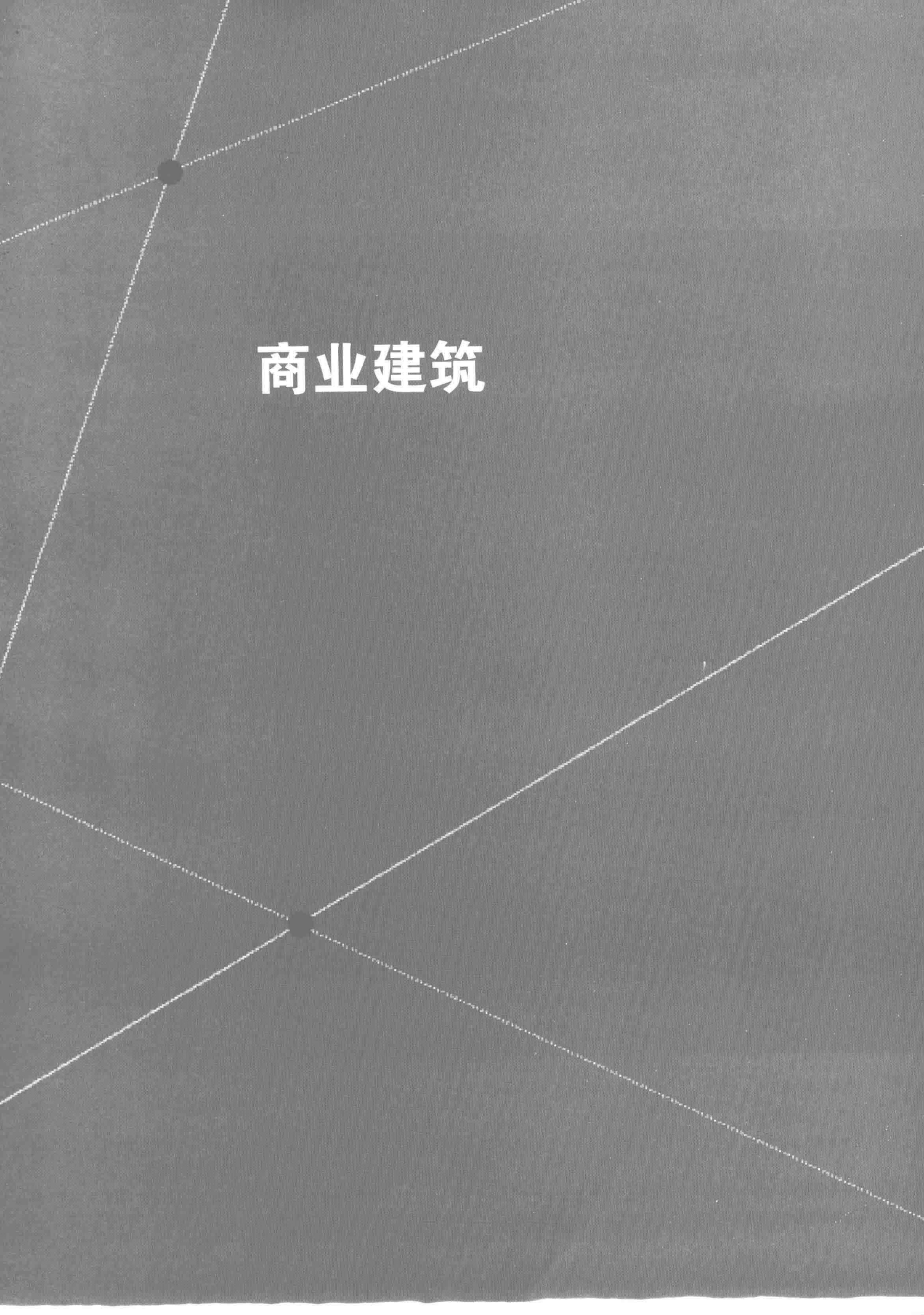
文化医疗建筑

新建天津现代职业技术学院综合办公楼及图书信息中心	167
动漫园主楼	183
天津大剧院	199
河东区人民法院审判综合楼	214
塘沽区残疾人综合服务中心	228
新建天津市人民医院肿瘤楼	248
渤海银行业务综合楼	262

交通站房

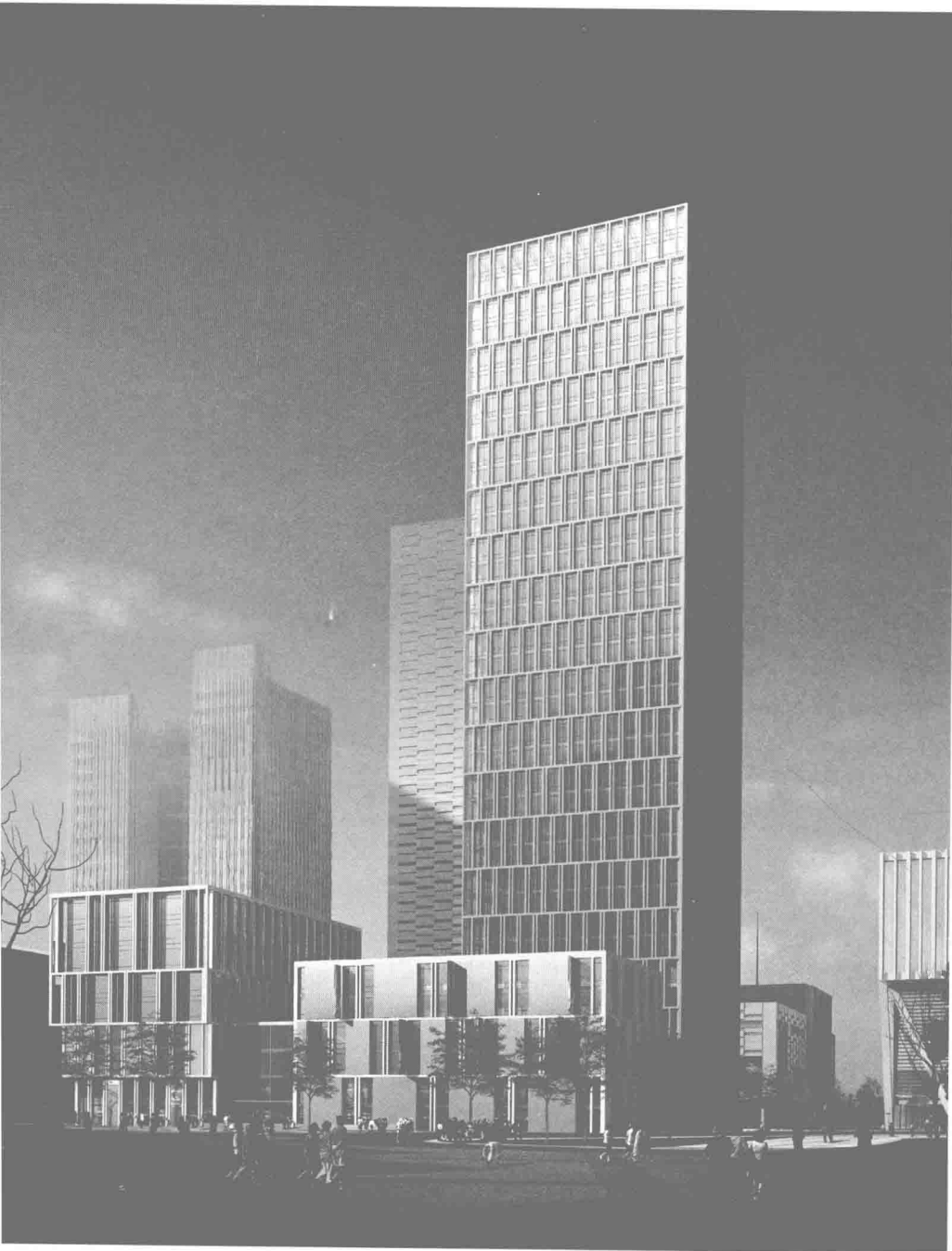
京沪高速铁路天津西站站房工程	279
京津城际铁路延伸线于家堡站站房穹顶	304

编后记	320
-----------	-----

The background is a dark gray, textured surface. It features two sets of thin, light-colored lines that intersect to form an 'X' shape. One set of lines runs from the top-left towards the bottom-right, and the other set runs from the top-right towards the bottom-left. At each of these two intersection points, there is a small, solid black dot.

商业建筑

天津滨海新区于家堡金融区起步区一期地块03-21工程塔楼



项目设计时间：2009 年 12 月 19 日

一、工程概况

1. 工程简介

于家堡金融商务区位于塘沽区海河北岸，北至新港路，东、西、南三面环水，规划面积 3.46 km^2 。该项目塔楼地上 34 层，地下 3 层，高 155.4 m ，建筑面积为 $66\,338 \text{ m}^2$ 。地面以上 1 层层高 6 m ，2 层及 3 层层高 5.4 m ，4 层及以上层高均为 4.2 m 。商场部分有 4 层高大堂，楼板挑空。整个地块设有 3 层地下室，地下 1 层层高 5.65 m ，主要用作设备机房和车库，地下 2 层层高 3.9 m ，地下 3 层层高 4.8 m ，地下 2 层和 3 层主要用途为车库，其中地下 3 层为机械式停车库。

2. 设计依据

1) 设计标准

设计依据国家及地方相关规范及标准。

2) 基本设计参数

基本设计参数见表 1-1。

表 1-1 基本设计参数

结构设计基准期	50 年	设计使用年限	50 年
建筑结构安全等级	二级	抗震设防类别	丙类
结构重要性系数	1.0	地基基础设计等级	甲级
土层等效剪切波速	小于 140 m/s	防火等级	一级
地下室防水等级	一级	设计地震分组	第一组
场地类别	IV 类	场地覆盖层厚度	$>80 \text{ m}$
标准冻土深度	0.6 m	地面粗糙度	B 类
基本风压	0.40 kN/m^2 (10 年一遇)； 0.55 kN/m^2 (50 年一遇)； 0.60 kN/m^2 (100 年一遇)		
基本雪压	0.35 kN/m^2 (50 年一遇)		
地震设防烈度	7 度 (设计基本地震加速度为 0.15 g)		
地震影响系数	0.12 (多遇地震)； 0.72 (罕遇地震)		
场地特征周期	0.55 s		

3) 设计荷载参数

建筑楼面均布活荷载标准见表 1-2。

表 1-2 建筑楼面均布活荷载标准值

类 别	标准值 (kN/m^2)	类 别	标准值 (kN/m^2)
隔墙	1.0	首层	5.0
幕墙	1.5	设备层	7.0
标准层, 楼层顶	2.0		

3. 材料

材料见表 1-3。

表 1-3 材料表

混凝土强度等级	基础	C30
	柱墙	C40, C50, C60
	楼面梁、板	C30
钢筋强度等级	桩、地下室侧壁主筋	HRB335
	其他部位	HPB235, HRB400
型钢	Q235, Q345	



二、场地工程地质条件和基础设计

1. 场地工程地质条件

1) 土层分布表

依据工程地质勘察报告，勘测深度内的地层从上至下如表 1-4 所示。

表 1-4 土层分布表

地层编号	主要岩性	大致标高段 (m)	极限侧摩阻力 标准值 q_{sik} (kN/m ²)	极限端阻力 标准值 q_{pk} (kN/m ²)
③ ₁	淤泥质黏土	人工素填土底界 ~-18.50	22	
③ ₂	粉质黏土夹粉土		35	
③ ₃	黏土		26	
③ ₄	粉质黏土		38	
④	粉质黏土	-18.00 ~ -19.60	48	
⑤	粉质黏土	-19.60 ~ -23.50	52	
⑥	粉土	-23.50 ~ -29.50	70	
⑦ ₂	粉砂	-29.50 ~ -48.00	78	900
⑦ ₃	粉质黏土		58	
⑧ ₁	粉质黏土	-48.00 ~ -54.00	62	
⑧ ₂	粉砂		80	950
⑨ ₁	粉质粉土黏土	-54.00 ~ -74.50	64	750
⑨ ₂	粉土		75	
⑨ ₃	粉质黏土		66	800

2) 水文地质条件

考虑建筑物功能特点，主楼及裙房区域防水设计水位取建筑物室外地面标高；对于全地下工程的设防高度，宜高出室外地坪高程 500 mm 以上，以确保地下工程的正常使用。

地下水的腐蚀性。在不考虑干湿交替的情况下，本场地地下水对混凝土结构无腐蚀性；对钢筋混凝土结构中的钢筋具有弱腐蚀性；对钢结构具有中等腐蚀性，腐蚀介质为 Cl^- 、 SO_4^{2-} 。在干湿交替的作用下，本场地地下水对混凝土结构无腐蚀性；对钢筋混凝土结构中的钢筋具有强腐蚀性，腐蚀介质为 Cl^- ；对钢结构具有中等腐蚀性，腐蚀介质为 Cl^- 、 SO_4^{2-} 。

2. 基础设计

建筑基础采用桩基础，桩型为直径 800 mm 的泥浆护壁钻孔灌注桩，为提高单桩承载力，可以考虑采用桩侧或桩端后压浆技术；裙楼基础与塔楼基础连为一体，对基础沉降要求严格，应采用桩基础，桩型为直径 650 mm 的钻孔灌注桩；纯地下室部分埋深较大，而场地地下水埋深浅，地下室自重不足以抵消地下水浮力，应采用抗拔桩，桩型为直径 650 mm 的钻孔灌注桩，裙楼及纯地下室的桩基础也可以考虑采用后压浆技术。

本工程地下室的最大宽度约为 100 m，最大长度约为 100 m，为保证高层建筑基础的有效埋深（即土对基础的侧限约束），整个地下室不能按现行规范的规定设置伸缩缝，为保证在施工期间不出现有害裂缝，须采取下列措施。

①地下室设置施工后浇带，一般每隔 30 ~ 50 m 设置一道施工后浇带，对于与高层塔楼相连的部位，考虑到裙楼（或纯地下室）多在高层塔楼结构之后才能施工等综合因素，其施工后浇带的间距可适当加大。施工后浇带应竖向贯通整个地下室，后浇带内的混凝土应在其两侧混凝土浇灌完毕两个月后再进行浇灌，其强度等级应提高一级，且采用早强、补偿收缩混凝土。后浇带封闭后应尽快进行地下室周边和顶部覆土的回填，防止地下室形成整体后再承受过大的温度应力。

②所有地下室非框架梁顶部的架立钢筋与支座负钢筋的搭接长度均为 $35d$ 。

③地下室防水板、外墙、主要楼板均采用双层双向配筋，其一侧钢筋的截面配筋率在地下室防水板不应小于 0.20%，在外墙、主要楼板不应小于 0.25%。

三、结构体系与超限设计

1. 结构体系

1) 体系选型

根据建筑方案，本工程高层建筑周边采用较大的柱距，只能在建筑周边布置梁、柱形成框架，使框架—核心筒结构体系成为首选方案。本工程平面外形尺寸约为 39.9 m×48.9 m，建筑物高度为 155.4 m，建筑物的高宽比为 3.9；核心筒的外形平面尺寸为 13.2 m×28.2 m，核心筒的高宽比为 11.7，满足《高层建筑混凝土结构技术规程》（JGJ 3—2010）关于“核心筒的宽度不宜小于筒体总高的 1/12”的规定。结构概念和计算分析均表明，本工程采用框架—核心筒体系时，其侧向刚度满足规范规定。

为节省投资，本工程采用钢筋混凝土结构，由于底部楼层柱子的截面尺寸偏大，底部楼层的柱可采用型钢混凝土结构，这样可以有效减小柱的截面尺寸、提高柱的延性，而建筑造价却增加不多，比较经济合理。

2) 结构布置

①抗侧力体系：由两部分构成——混凝土核心筒体和外框架。

②外围框架：外围框架柱的位置根据建筑平面图确定，最大柱距 12 m，最小柱距 9 m，由于建筑立面规则，每根柱子可直达顶层，为结构设计创造了方便条件。但是由于柱距大，框架所承担的抗侧力作用较小，主要水平力还是由内筒承担，为了减小底部柱子的断面和增加结构延性，在柱中加入适量型钢，同时起到增加结构延性的作用。

③内筒平面为矩形，其中布置垂直交通工具：电梯、楼梯及各种管井。内筒的墙体由多道剪力墙组成，是风荷载和地震作用下的主要抗侧力构件，所以内筒应具有足够的强度和延性。

④楼盖体系：从节约造价的角度出发，采用普通的钢筋混凝土楼板体系，梁最大高度为 700 mm，可以满足办公区 2.8 m 净高及走廊 2.4 m 净空的要求。外框与内筒之间的框架梁均为刚接，在与核心筒相连部位及受力较大处 700 mm 高的截面不能满足受力要求，将通过设置加腋的方法予以解决。

2. 工程超限判定

建筑超限检查见表 1-5。

表 1-5 建筑超限检查

建筑物名称		塔楼	规范要求	比较结果
设防烈度		7 度（0.15 g）	7 度（0.15 g）	符合规定
抗震等级		核心筒计算时为一级，抗震构造措施为特一级，框架均为一级	依据《高层建筑混凝土结构技术规程》（JGJ 3—2002）第 4.8.3、4.8.4 条规定，抗震等级为一级，但核心筒应按特一级采用抗震构造措施	符合规定
抗震设防类别		丙类	丙类	符合规定
高度（m）	地上主体部分	155.4 m （檐口标高）	《高层建筑混凝土结构技术规程》（JGJ 3—2002）第 4.2.2 条规定，框架—核心筒结构的最大适用高度分别为 130 m（A 级）、180 m（B 级）	建筑物高度超限，但属于 B 级高度
	地下室埋深	14.35 m	基础埋置深度不宜小于 156.6/15=10.44	符合规定
结构高宽比		156.6/39.9=3.92	不宜大于 7	符合规定
平面 规则性	扭转位移比（考虑偶然偏心）	1.23（5～14 层）	不宜大于 1.2，不应大于 1.5	符合规定
	凹凸	无凹凸	突出部分不宜过大	符合规定
	楼板连续性	除地上二层楼板开大洞外，其余各层楼板连续性良好	楼面凹入或开洞尺寸不宜大于楼面宽度的一半；楼板开洞总面积不宜超过楼面面积的 30%；在扣除凹入或开洞后，楼板任一方向的最小净跨度不宜小于 5 m，且开洞后每一边的楼板净宽度不应小于 2 m	总体符合规定，仅个别楼层不符合规定



续表

建筑物名称			塔楼	规范要求	比较结果
竖向 规则性	楼层 侧向 刚度	按层间 剪力除 以层间 位移法	楼层侧向刚度与相邻 上一层的 70% 或其上相 邻三层侧向刚度平均值 的 80% 的比值的较小值 1.18 (7 层)	《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2001) 第 3.4.2 条要求, 楼层侧向刚度不应小于相邻上一层 的 70% 或其上相邻三层侧向刚度平均值的 80%	符合规定
	楼层抗侧受剪承 载力		楼层层间抗侧力结构 的受剪承载力与其上一 层受剪承载力的比值的 最小值为 0.94 (13 层)	《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3— 2002) 第 4.4.3 条要求, B 级高度高层建筑的楼 层层间抗侧力结构的受剪承载力不应小于其上一 层受剪承载力的 75%	符合规定
剪重比	最小剪重比 X 向: 0.018 (1 层) 最小剪重比 Y 向: 0.020 (1 层)			《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3— 2002) 第 3.3.13 条要求, 扭转效应明显或基本周 期小于 3.5 s 的结构, 最小剪重比为 0.024	需要进行剪 力调整
刚重比	X 向刚重比: 3.87 Y 向刚重比: 4.58			《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3— 2002) 第 5.4.4 条要求剪力墙结构、框架—剪力 墙结构、筒体结构应满足公式要求	符合规定

3. 抗震设防性能目标

抗震设防性能目标见表 1-6。

表 1-6 抗震设防性能目标

地震烈度水准		多遇地震 (小震)	设防地震 (中震)	罕遇地震 (大震)
结构整体性能		不损坏	可修复的损坏	不倒塌
层间位移限值		1/800	1/300	1/100
核心筒	底部加强区核心筒外围墙	弹性按规范设计要求	抗剪弹性 抗弯不屈服	允许进入塑性 控制塑性变形
	其他层核心筒墙	弹性按规范设计要求		允许进入塑性 控制塑性变形
外框架	底部加强区框架柱	弹性按规范设计要求	抗剪弹性 抗弯不屈服	允许进入塑性 控制塑性变形
	其他层框架柱	弹性按规范设计要求	—	允许进入塑性 控制塑性变形
其他构件	框梁、连梁、次梁及其他	弹性按规范设计要求	—	允许进入塑性 控制塑性变形

4. 工程超限主要抗震措施

针对以上性能目标, 采取的措施有以下几点。

①加大跃层柱上部楼层楼板厚度 (200 mm), 加强结构的整体性。

②跃层位置普通柱设计承载能力适当加强, 跃层柱内力按本层普通柱内力设计, 忽略由于构件计算长度增加而导致的计算内力减小的有利影响。

③在结构底部区域设置钢骨以增加柱的延性。

④在结构计算中将跃层柱处楼板以膜单元进行模拟, 从而合理考虑楼板的平面内刚度较弱的影响。

⑤在跃层柱部位按结构并层进行计算, 对跃层柱的承载能力进行复核。

四、结构分析主要成果

1. 计算分析软件

本工程在初步设计阶段的弹性计算部分主要采用两个分析程序: PKPM 系列软件 SATWE 和 ETABS

有限元分析软件。

2. 结构分析主要计算结果

1) 结构计算基本信息

结构计算基本信息见表 1-7。

表 1-7 结构计算基本信息

前六个振型对应的结构自振周期			SATWE (1) (s)		ETABS (2) (s)
T_1			3.259 6		3.441 75
T_2			3.091		3.118 05
T_3			2.288 5		2.009 57
T_4			0.994 4		0.991 66
T_5			0.781 1		0.733 91
T_6			0.707 2		0.678 28
组合		地震作用 (X 向)	地震作用 (Y 向)	风荷载 (X 向)	风荷载 (Y 向)
SATWE	底部剪力 (kN)	21 632.9	24 628.8	11 178.4	13 981
	倾覆弯矩 (kN·m)	1 974 651	2 018 308	11 60218	147 5974
ETABS	底部剪力 (kN)	21 500	24 050	-11 020	-12 490
	倾覆弯矩 (kN·m)	1 654 000	1 687 000	-980 300	1 139 000

SATWE 计算结果如图 1-1、1-2 所示。ETABS 计算结果见图 1-3。

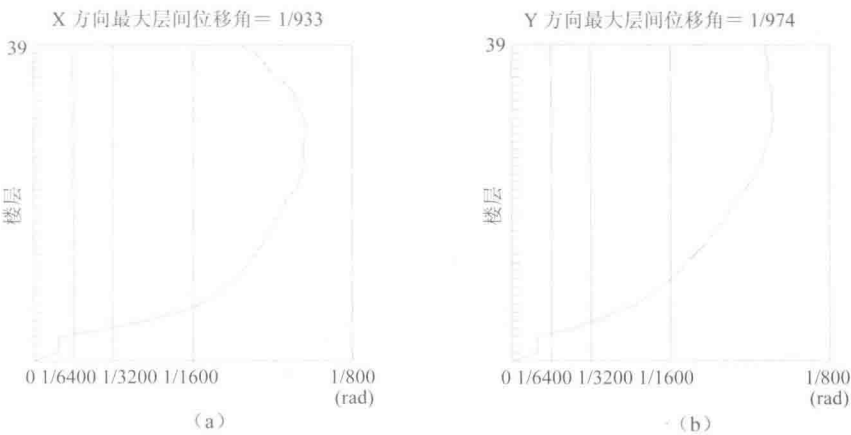


图 1-1 地震作用最大层间位移角分布

(a) X 方向最大层间位移角曲线 (b) Y 方向最大层间位移角曲线

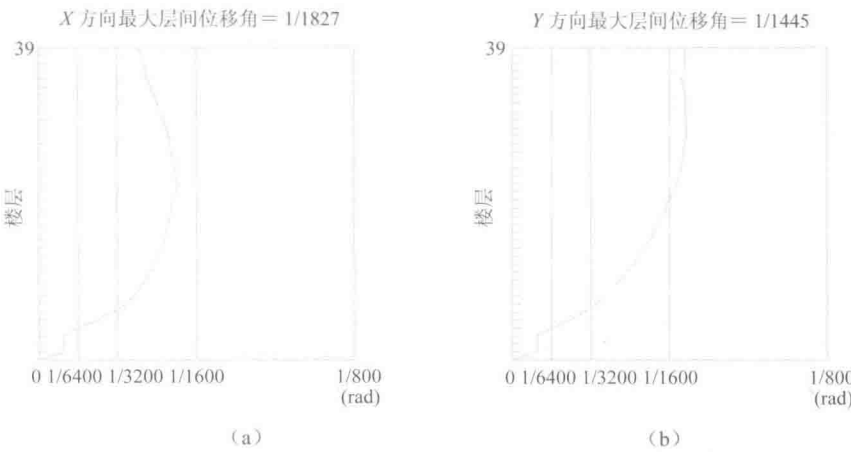


图 1-2 风荷载作用最大层间位移角分布

(a) X 方向最大层间位移角曲线 (b) Y 方向最大层间位移角曲线

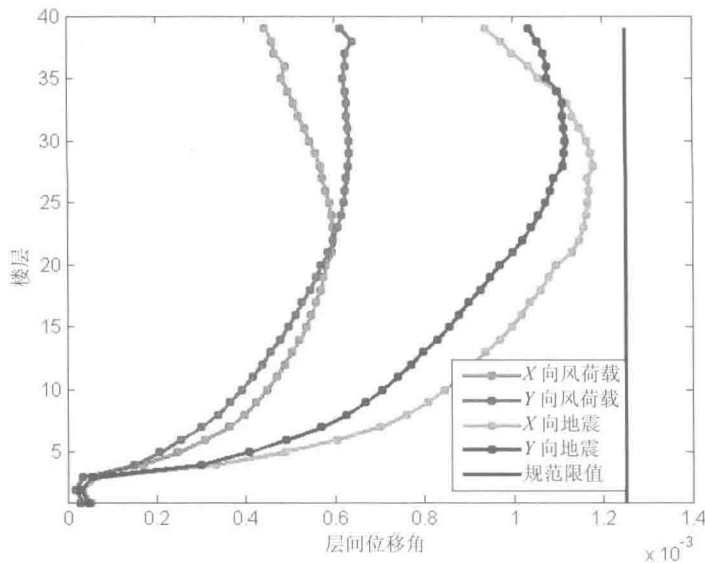


图 1-3 最大层间位移角 ETABS 计算结果

2) 规范反应谱及弹性时程分析

(1) 地震波的选取

在结构的多遇地震分析中采用三组强震加速度记录作为动力时程分析的地震波（TDX2（天然波）、TDX4（天然波）、Y631（人工波））输入，所有加速度时程记录均由天津市地震工程研究所提供。在三组强震记录中，一组为与设计目标反应谱相符的人工模拟加速度时程，其余二组为与设计目标反应谱相符的真实强震加速度记录。输入中考虑了双方向地震时程输入的影响，两方向加速度时程峰值比为 1: 0.85。

对所用地震波的时程以及其所达到的反应谱曲线与目标反应谱进行比较表明，所用地震时程记录满足规范要求。

(2) 规范反应谱与弹性动力时程分析计算结果

弹性时程分析所得到的基底反力如表 1-8 所示，多遇地震时程计算所得基底剪力均大于反应谱法的 65%，且平均值大于反应谱法的 80%，满足规范要求。以其作为地震输入进行计算，得到的结构地震反应结果可作为结构抗震设计依据的补充。

表 1-8 多遇地震时程计算所得基底剪力与反应谱法结果比较

		SATWE 计算结果		ETABS 计算结果	
		地震作用 (X 方向)	地震作用 (Y 方向)	地震作用 (X 方向)	地震作用 (Y 方向)
天然波 1	基底剪力 (kN)	24 831	24 240	22 760	24 090
	与反应谱法比较	1.15	0.98	1.06	1.00
天然波 2	基底剪力 (kN)	24 096	26 712	22 810	26 760
	与反应谱法比较	1.11	1.08	1.06	1.11
人工波 1	基底剪力 (kN)	19 086	26 261	22 870	25 160
	与反应谱法比较	0.88	1.09	1.06	1.05
三条时程平均值	基底剪力 (kN)	22 671	25 738	22 813	25 337
	与反应谱法比较	1.05	1.05	1.06	1.05
规范反应谱法	基底剪力 (kN)	21 632.9	24 628.8	21 500	24 050

表 1-9 列出了弹性时程分析所得到的结构位移反应。SATWE 计算结果显示上述三条时程曲线作用下的最大层间位移角均小于规范限值的 1/800，满足规范要求，计算结果如图 1-4、图 1-5 所示。ETABS 计算结果见图 1-6、图 1-7。

表 1-9 多遇地震时程计算所得

		SATWE 计算结果		ETABS 计算结果	
		主方向 沿 X 方向	主方向 沿 Y 方向	主方向 沿 X 方向	主方向 沿 Y 方向
天然波 1	最大层间 位移比	1/874	1/900	1/752	1/876
天然波 2		1/902	1/904	1/994	1/1 107
人工波 1		1/1 009	1/982	1/872	1/1 016
规范反应谱		1/933	1/974	1/850	1/896

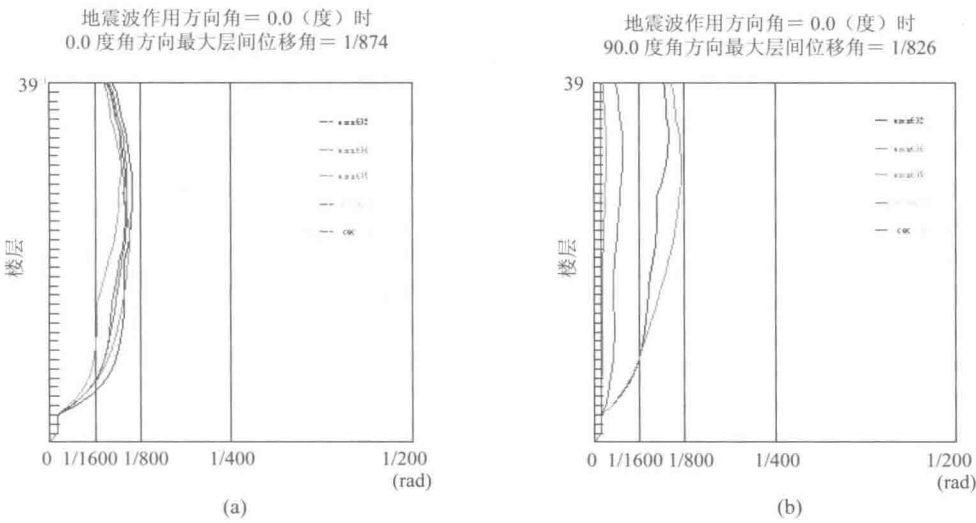


图 1-4 地震作用下结构层间位移角 (X 方向) SATWE 结果
(a) 主方向最大层间位移角曲线 (b) 次方向最大层间位移角曲线

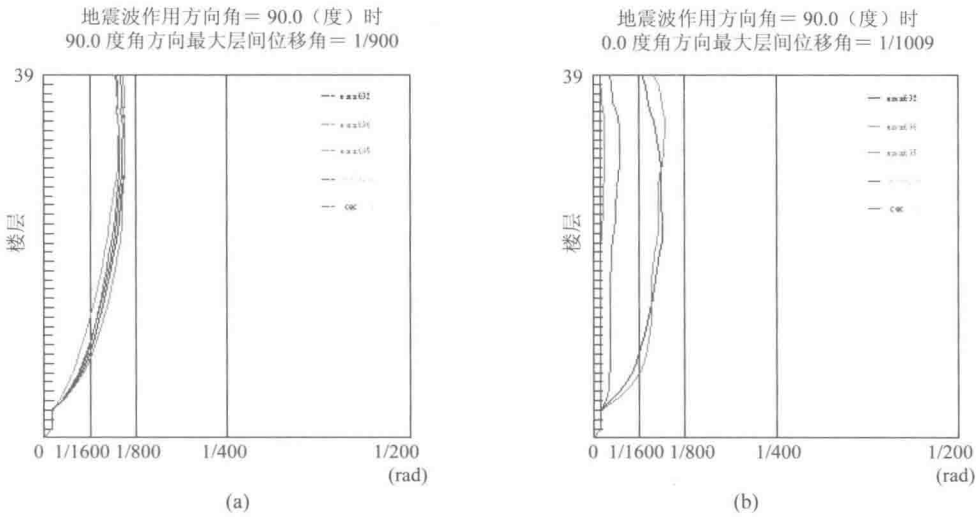


图 1-5 地震作用下结构层间位移角 (Y 方向) SATWE 结果
(a) 主方向最大层间位移角曲线 (b) 次方向最大层间位移角曲线

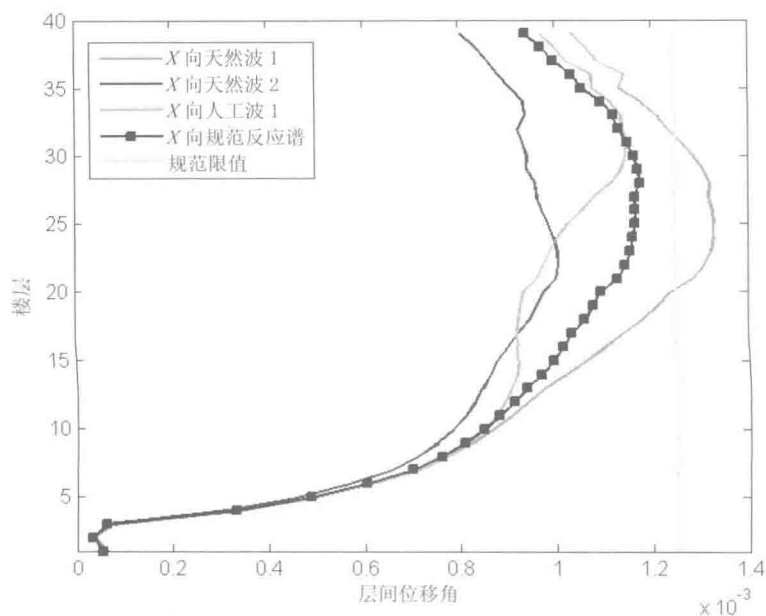


图 1-6 地震作用下结构层间位移角 (X 方向) ETABS 结果

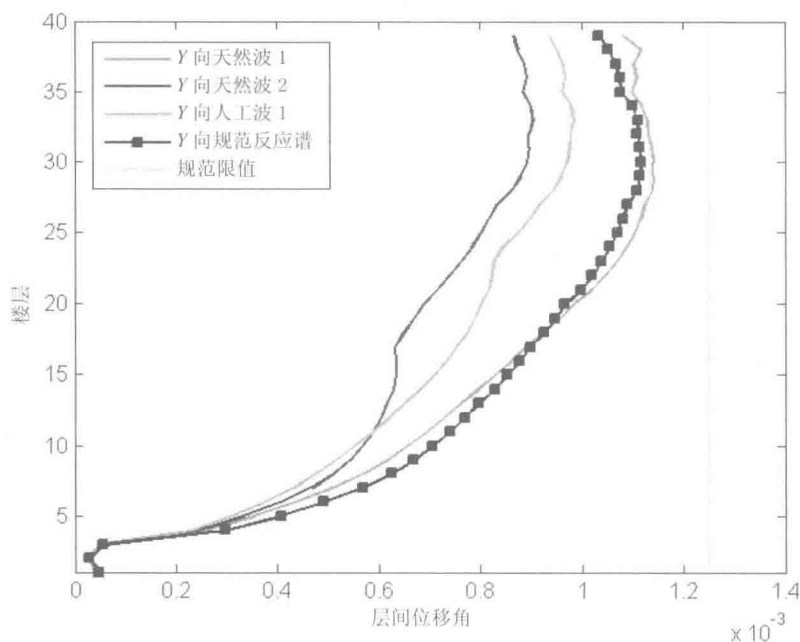


图 1-7 地震作用下结构层间位移角 (Y 方向) ETABS 结果

3. 楼板舒适度分析

居住舒适性是结构设计中须考虑的一个重要问题。风导致的结构变形或振动可以引起居住者或使用者的不适,或影响其正常的活动。居住者对运动的感知是主观的,由诸多因素决定,如个体对运动舒适性的预期、所进行活动的类型等。声音(结构变形的噪声)和视觉(摇摆)效果将使人们对运动的感知大大增强。我国规范对住宅和办公室由 10 年一遇的风荷载引起的屋顶加速度的限值分别是 0.15 m/s^2 和 0.25 m/s^2 。依据《高层民用建筑钢结构技术规程》(JGJ 99—98)提供的计算方法,可知结构顺风向顶点最大加速度为 0.057 m/s^2 ,结构横方向顶点最大加速度为 0.024 m/s^2 ,满足规范要求。