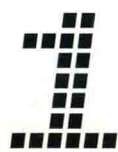


天津市超限高层建筑工程 专项抗震设防实例集



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 1

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

ISBN 978-7-5618-5035-0

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079047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 22.5

字数 939千

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

公寓建筑

金融街（和平）中心融景华庭南苑 4#、5# 楼	2
金融街（和平）中心融景华庭南苑 6# 楼	24
中慧熙元广场（公寓）	46
天津卫津南路项目一期工程	61
天津卫津南路项目二期工程	76
天津市高新区软件及服务外包基地配套居住区一期项目 T4 塔楼	92
天津小伙巷 C 地块陆家嘴河滨公寓	109
天津津和荣 1、2 号地工程 2# 楼	127
天津津和荣 1、2 号地工程 5# 楼	141
天津盛世鑫和 5# 地 13# 楼	156
天津盛世鑫和 5# 地 14# 楼	179
天津宝龙城市广场 1 号楼	203
天津市高新区软件及服务外包基地综合配套区 10R、11R 住宅区项目与环外住宅之 10R 及 11R 地块住宅区项目 T3、T12、T15 及 T17 塔楼	219
天津市高新区软件及服务外包基地综合配套区 10R、11R 住宅区项目与环外住宅之 11R 地 块住宅区项目 T11 及 T14 塔楼	239
天津市高新区软件及服务外包基地综合配套区 10R、11R 住宅区项目与环外住宅之环外住宅 T8 塔楼	259
天津市和平区鞍山道 B 地块	279
天津万达中心住宅	299
天津中粮大道一期 E 地块 1 号塔楼	316
天津中粮大道一期 E 地块 2 号塔楼	332
编后记	352

公寓建筑

金融街（和平）中心融景华庭南苑 4# 5# 楼



项目设计时间：2012 年 9 月

一、工程概况

1. 工程简介

金融街（和平）中心项目地块位于天津市和平区，分为融金中心、融景华庭北苑和融景华庭南苑三个地块。融景华庭北苑北至长春道、东至吉林路、南至滨江道、西至黑龙江路，该地块为住宅组团，由2栋小高层住宅（1#、2#）和1栋高层住宅（3#）及配套商业组成；融金中心北至滨江道、东至黑龙江路、南至哈尔滨道、西至大沽北路，该地块由公建（写字楼）及配套小商业组成；融景华庭南苑北至滨江道、东至吉林路、南至哈尔滨道、西至黑龙江路，该地块为超高层住宅组团，由3栋超高层住宅（4#、5#和6#）及配套商业组成。各地块地下设四层地下室。

4#、5#楼为金融街（和平）中心项目融景华庭南苑超高层住宅。4#楼约为26 400 m²，5#楼约为24 100 m²；4#、5#楼地上部分平面布置和竖向体型均相同；平面形状近似矩形，长约37.3 m，宽约17.65 m，高宽比约8.58，楼层数为地上47+2层，地下1层层高为3.15 m，地下2层层高为3.8 m，地下3层及4层层高均为4.5 m，地上1层层高4.95 m，地上2层层高4.2 m，第16层、31层为避难层，层高为3.15 m，标准层层高为3米，结构高度（至结构大屋面）约为151.45 m。

2. 设计依据

1) 设计标准

设计依据国家及地方的相关设计规范及标准。

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	建筑物抗震设防类别	标准设防类（丙类）
计算抗震等级	一级	地基基础设计等级	甲等
地震构造措施	8 度	场地类别	Ⅲ类
基本风压	0.50 kN/m ² （60 m 以下建筑），0.55 kN/m ² （60 m 以上建筑）		
基本雪压	0.40 kN/m ² （50 年一遇）		
地震基本烈度	7 度（设计基本地震加速度为 0.15 g）		
地震设防烈度	7 度（设计基本地震加速度为 0.15 g）		
构造抗震等级	底部加强部位特一级，其余部位一级		

3) 设计荷载参数

楼面均布活荷载标准值见表1-2。

表 1-2 楼面均布活荷载标准值

不上人屋顶	0.5	机电层	7.5 或实际重量
上人屋面、住宅、一般卫生间	2.0	普通机电设备房	7.0 或实际重量
商业卫生间	2.5	办公室，后勤室，餐厅或餐饮区	3.0
厨房、地下车库及车道	4.0	通风机房	10.0 或实际重量
电梯机房	7.0	储藏室	5.0
冷却塔	实际水重量	电梯底坑	20.0 或实际重量
商场、走道，疏散楼梯，避难层，电梯大堂	3.5	首层室外区域（地下室顶板）	5.0、 35 或 20（消防车道）



3. 材料

1) 混凝土强度等级

混凝土强度等级见表 1-3。

表 1-3 混凝土强度等级

墙及连梁混凝土等级	层数	梁、板混凝土等级	层数
C35	46 ~ 49 层	C30	40 ~ 49 层
C40	33 ~ 45 层	C40	B3 ~ B1 层, 1 ~ 39 层
C50	27 ~ 32 层		
C55	17 ~ 26 层		
C60	B4 ~ B1 层, 1 ~ 16 层		

筏板采用 C40 混凝土，桩基采用 C40 混凝土（配比按 C45）；基础底板、地下室外墙采用防水混凝土，基础底板、地下三层外墙抗渗等级采用 P8，地下一层、二层外墙、顶板采用 P6。基础垫层混凝土等级为 C15，其他未注明的混凝土等级为 C25。

2) 钢筋

本工程钢筋种类以 HRB335、HRB400 为主。

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

依据天津市勘察院提供的工程地质勘察报告，勘测深度内的地层依上至下见表 1-4。

表 1-4 土层分布表

编号	土层岩性	天然地基承载力特征值 f_a (kN/m ²)	钻孔灌注桩	
			q_{sik} (kN/m ²)	q_{pk} (kN/m ²)
① ₂	素填土	85	20	
③ ₁	黏土、粉质黏土	100	28	
④ ₁	粉质黏土、黏土	120	42	
⑥ ₁	粉质黏土	110	35	
⑥ ₄	粉质黏土	115	35	
⑦	粉质黏土	130	45	
⑧ ₁	粉质黏土	150	53	
⑨ ₂	粉土	180	65	
⑨ ₂₋₁	粉质黏土	160	54	
⑨ ₂₋₂	粉土	190	68	
⑩ ₁	黏土	170	54	
Ⅺ ₁	粉质黏土、黏土	180	57	
Ⅺ ₂	粉土、粉砂	200	70	800
Ⅺ ₃	粉质黏土	180	58	650
Ⅺ ₄	粉土	220	72	900
⑫ ₁	黏土、粉质黏土	180	58	700
⑬ ₁	粉质黏土	200	65	850
⑬ ₂	粉砂	240	76	1 000
⑭ ₁	粉质黏土、黏土	200	68	900
⑭ ₂	黏砂	260	80	1 100

2) 水文地质条件

拟建场地地下水对混凝土结构的腐蚀性评价：按Ⅲ类环境，无干湿交替作用时，地下水对混凝土结构有微腐蚀性，腐蚀介质为 SO_4^{2-} ；有干湿交替作用时，地下水对混凝土结构有弱腐蚀性，腐蚀介质为 SO_4^{2-} ；按地层渗透性判定，地下水对混凝土结构有微腐蚀性。地下水对钢筋混凝土结构中的钢筋的腐蚀性评价：在长期浸水作用时，地下水对钢筋混凝土结构中的钢筋有微腐蚀性，腐蚀介质为 Cl^- ；在干湿交替作用时，地下水对钢筋混凝土结构中的钢筋有弱腐蚀性，腐蚀介质为 Cl^- 。因此，地下水对钢结构有中等腐蚀性，腐蚀介质为 Cl^- 、 SO_4^{2-} 。

本场地地下水位较浅，表层场地土对建筑材料的腐蚀性参考地下水腐蚀性使用。

2. 基础设计

本工程采用桩筏基础。

本工程桩基采用钻孔灌注桩，直径为 1 000 mm，设计有效桩长最长为 65 m。为保证桩基施工的可靠性，考虑施工工艺要求，从自然地坪起算，桩长径比控制在 80 以内。

由于该单体为剪力墙结构，且地上层数较多，高度较高，荷载较大，桩满堂布于筏板下，因此桩上设计厚度为 2.2 m 的基础筏板，确保筏板较大的刚度，以实现将剪力墙的竖向荷载较为均匀地分布到桩上。为提高单桩承载力、减少沉降及消除桩端沉渣对成桩质量的影响，所有桩均采用后注浆工艺。该工艺通过桩端压入水泥浆，消除桩端沉渣，提高桩端阻力和桩侧阻力。桩端持力层采用⑩₂ 粉砂层。

由于结构高度较高，桩基需要提高地震作用下的倾覆力矩，因此桩基沿建筑物外边布置密度大于中心。与此同时，控制中心部分桩基沉降值，不致在竖向荷载作用下产生过大的不均匀沉降。

三、结构体系与超限设计

1. 结构体系

根据建筑形式的要求，本工程采用剪力墙结构体系，即利用建筑的内墙或外墙做成剪力墙以承受楼面体系传递的竖向荷载。此种结构体系造价相对较低，施工难度小，广泛地用于开间不大的普通高层住宅楼；另外墙体既承重又起围护作用，具有不突出墙面、美观的优点，适用于高层住宅建筑，不失建筑布置的灵活性。

出屋面部分构架，个别竖向构件不连续，结构设置托梁上托剪力墙。

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

钢筋混凝土剪力墙		规范限制	拟建项目建筑高度	是否超限
		120 m	151.45 m	是
1a	扭转不规则	考虑偶然偏心的扭转位移比大于 1.2	1.29 (CQC) 1.25 (规定水平力)	是
1b	偏心布置	偏心率大于 0.15 或相邻层质心相差大于相应边长 15%	无	否
2a	凹凸不规则	平面凹凸尺寸大于相应边长 30%	接近 30%	否
2b	组合平面	细腰形或角部重叠形	无此种情况	否
3	楼板不连续	有效宽度小于 50%，开洞面积大于 30%，错层大于梁高	有	是
4a	刚度突变	相邻层刚度变化大于 70% 或连续三层变化大于 80%	刚度无突变	否
4b	尺寸突变	竖向构件位置缩进大于 25%、或外挑大于 10% 和 4 m	无	否
5	构件间断	上下墙、柱、支撑不连续，含加强层、连体类	无此种情况	否
6	承载力突变	相邻层受剪承载力变化大于 80%	无	否
7	承载力突变	如局部的穿层柱、斜柱、夹层、个别构件错层或转换	屋顶局部存在	是



3. 抗震设防性能目标

针对以上超限问题并结合本工程的实际情况，根据《建筑工程抗震性态设计通则》和《高层建筑混凝土结构技术规程》（JGJ 3—2010）第 3.11 节及条文说明，本项目高度超过 A 级高度，选用 D 级目标。具体如下。

1) 多遇地震作用下

结构满足弹性设计要求，全部构件的抗震承载力和层间位移满足现行规范的要求，结构构件在地震后完好、无损伤，一般不需修理仍可继续使用，人员不会因结构损伤造成伤害，可安全出入和使用。

2) 设防地震作用下

关键构件轻微损坏，出现轻微裂缝。部分普通竖向构件中度损坏。具有延性的耗能构件中度损坏，出现明显的裂缝，进入屈服阶段。部分比较严重的损坏，需要修复或加固后可继续使用。

3) 罕遇地震作用下

保证关键构件发生中等程度损坏，允许部分普通竖向构件及耗能构件出现相对比较严重的破坏。需要采取安全措施，排险大修后方可继续使用。

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 (重现周期)		多遇烈度 (T=50 年)		设防烈度 (T=475 年)		罕遇烈度 (T=1 975 年)	
规范抗震概念		多遇地震不坏		设防地震可修		罕遇地震不倒	
性能水准		1		4		5	
层间位移角限值		1/1 000		—		1/120	
性能目标描述		抗弯	抗剪	抗弯	抗剪	抗弯	抗剪
	底部加强区剪力墙	弹性设计 ⁽¹⁾		不屈服 ⁽²⁾	不屈服 ⁽²⁾	$\varepsilon_c < \varepsilon_{cu}$ $\sigma_s < f_u$	验算受剪截面控制条件 ⁽⁴⁾
	加强区以上剪力墙	弹性设计 ⁽¹⁾		不屈服 ⁽³⁾	不屈服 ⁽³⁾	$\varepsilon_c < \varepsilon_{cu}$ $\sigma_s < f_u$	验算受剪截面控制条件 ⁽⁴⁾
	连梁	允许少数开裂 进入塑性		允许开裂 进入塑性		允许较多破坏	
	屋面托梁	弹性设计 ⁽¹⁾		不屈服 ⁽³⁾	不屈服 ⁽²⁾	$\varepsilon_c < \varepsilon_{cu}$ $\sigma_s < f_u$	验算受剪截面控制条件 ⁽⁴⁾

注：（1）按规范要求进行设计；
（2）等效弹性计算时，不考虑荷载分项系数、组合系数和抗震调整系数，不考虑内力放大系数，材料强度取标准值；
（3）按等效弹性计算时，考虑荷载分项系数、组合系数和抗震调整系数，不考虑内力放大系数，材料强度取设计值；
（4）按弹塑性或等效弹性计算，罕遇地震组合作用下构件抗剪截面满足要求，即截面剪应力控制。

4. 工程超限主要抗震措施

①高层建筑的高宽比是对结构刚度、整体稳定性、承载能力和经济合理性的宏观控制。本单体高度较高，高宽比达到 8.58，规范建议限值为 6，大于规范建议限值较多。从受力角度讲，整体弯矩变形较大，致较多剪力墙受拉，尤其是在设防地震甚至罕遇地震的性能设计下。其次，整体抗侧力刚度非常不利。由于墙长度较小，整体抗弯刚度也较小。为此，针对目前出现的结构高宽比过大的情况，结构提出了针对性的解决方案：尽量减轻结构自重和填充墙的重量，以减小地震反应；在结构南北两侧增加剪力墙端柱，以抵抗倾覆弯矩。基础埋深：本项目设四层地下室，基础埋深约 18.55 m，与建筑物高度比值为 1/8.2，大于规范 1/18 的要求。周围良好的土体侧限约束，提高了建筑的抗倾覆能力，也加强了建筑的抗震性能。

②控制桩在多遇地震组合作用下不出现拉力，设防地震组合作用下出现拉力的桩数量小于总桩数的 10%，且拉应力不大于桩身混凝土抗拉强度标准值。为避免和减小桩基受拉应力和受拉桩基范围，筏板外伸地库外 2.5 m，地库内 3 m，尽量增大桩基布置范围，增大桩基抗倾覆刚度。加强桩身与承台板之间的连接，

按受拉钢筋的要求考虑桩身主筋锚入承台的长度。

③适当增加底部加强区剪力墙的厚度，提高部分周边受拉墙肢墙体竖向分布筋的配筋率至 0.5%，并结合软件应力分析，必要时大于 0.5%，保证底部加强区剪力墙的抗震承载力和变形能力。

④针对位移比较大的问题，加大结构四角约束边缘构件设置范围至 16 层，提高结构整体抗扭承载力和延性。

⑤重视连梁的延性设计，通过弹塑性推覆分析，关注连梁塑性铰发展情况，使其具有良好的延性，消耗地震能量，起到耗能构件的作用。

⑥立面顶部局部收进，设屋面托梁，满足剪切截面控制条件要求，并适当提高梁纵向钢筋的配筋量，按转换梁采取抗震构造措施。楼板厚度不小于 120 mm，屋面收进处相邻板采用双层双向配筋，且每层每方向的配筋率不小于 0.25%。同时增强收进层上下质心的偏离距离小于短边长度的 20%，以减少其对抗震的不利影响。

⑦针对楼板不连续的情况，分析地震作用下楼板应力，并按应力情况对楼板配筋进行调整和加强，保证地震作用下楼板可以有效地传递水平力。

⑧通过程序分析计算，对结构关键构件和薄弱部位，在多遇地震、设防地震及罕遇地震下的性能目标进行验算，保证各项目标符合规范要求。除了上述概念设计和具体构件分析计算外，构造上适当提高延性标准，对薄弱部位构件的设计采取更加严格的延性构造抗震措施，以适应结构的抗震要求。

⑨通过非线性推覆分析，验算结构在罕遇地震作用下的薄弱层弹塑性变形，满足规范罕遇地震不倒的要求；了解结构塑性铰的形成规律，找出薄弱部位，针对性地优化结构布置。

四、结构分析主要成果

1. 计算分析软件

本项目采用的计算分析软件见表 1-7。

表 1-7 计算分析软件

序号	程序名称	编制单位	版本	使用范围
1	PKPM 系列软件 SATWE	中国建筑科学研究院	2010.9	整体模型分析 配筋计算
2	ETABS	CSI Berkeley	V9.7.4	整体计算分析 弹性计算结果复核
3	SAP2000	CSI Berkeley	V15.1.1	静力弹塑性分析
4	理正工具箱软件	理正软件公司	6.5	构件计算

2. 多遇地震作用下弹性分析

1) 结构整体分析主要输入参数

多遇地震弹性计算时结构整体分析主要输入参数见表 1-8。

表 1-8 多遇地震弹性计算时结构整体分析主要输入参数

计算参数	取值	备注	计算参数	取值	备注
结构总层数	-4/49	地下 / 地上 (含出屋面)	剪力墙抗震等级	一级	抗震计算等级
				一级	抗震构造等级
结构体系	剪力墙结构		框架柱抗震等级	同剪力墙	
水平力与整体坐标系 夹角	0°		考虑偶然偏心	是	



续表

计算参数	取值	备注	计算参数	取值	备注
恒活载计算信息	模拟施工荷载		考虑双向地震作用	是	
对所有楼板采用刚性 楼板假定	是		计算振型个数	15	
地面粗糙度类别	C 类		活荷载质量折减系数	《建筑结构荷 载规范》	GB 50009—2001 (2006 年版)
修正后基本风压 (kN/m ²)	0.5	位移计算	周期折减系数	0.9	
	0.55	承载力计算			
风荷载体系系数	1.4		结构阻尼比	0.05	
设防烈度	7 度 (0.15 g)		特征周期 (s)	0.618	
场地类别	III 类		多遇地震影响系数 最大值	0.124	
设计地震分组	第二组		连梁刚度折减系数	1.0	位移计算
				0.7	承载力计算

2) 结构周期、周期比
结构周期、周期比见表 1-9。

表 1-9 结构周期、周期比

振型 号	SATWE			ETABS			两种程序周期对比
	周期 (s)	平动系数 (X+Y)	扭转系数	周期 (s)	平动系数 (X+Y)	扭转系数	(TETABS-TSATWE) / TSATWE
1	2.900 0	1.00 (0.00+0.99)	0.00	2.834 9	1 (0+1)	0.00	2.25%
2	2.816 6	0.90 (0.90+0.01)	0.10	2.665 0	0.76 (0.76+0)	0.24	5.38%
3	2.163 5	0.10 (0.10+0.00)	0.90	2.176 9	0.26 (0.26+0)	0.74	-0.62%
4	0.855 1	0.90 (0.90+0.00)	0.10	0.826 1	0.82 (0.82+0)	0.18	3.39%
5	0.668 6	0.99 (0.00+0.99)	0.01	0.701 1	1 (0+1)	0.00	-4.86%
6	0.638 8	0.10 (0.10+0.01)	0.90	0.650 6	0.18 (0.18+0)	0.82	-1.84%

从表 1-9 可以看出，两种程序计算所得的自振扭转周期 T_t 与平动第一周期 T_1 的比值满足规范对 B 级高度钢筋混凝土结构不大于 0.85 的要求，两种计算程序计算的周期接近，误差在合理的范围之内。

3) 层间剪力

两种程序计算所得的层间剪力分布图略。从层间剪力分析结果可以看出，两种程序计算所得的结构地震剪力相差不大，均满足规范对结构最小剪重比的要求。

4) 层位移

从计算结果可以看出，结构层位移曲线平滑，除顶端局部收进位移减小外，没有明显的位移突变，说明结构抗侧刚度连续，不存在薄弱层。

5) 层间位移角

从计算结果可以看出，两种程序计算所得的结构在多遇地震作用下和风荷载作用下层间位移角曲线没有明显的突变，层间位移角的最大值均满足规范的限值规定。

6) 层间位移比

层间位移比计算中，均考虑 5% 偶然偏心的影响。其中 SATWE 分别统计 CQC 和规定水平力作用下的层间位移比，而 ETABS 目前仅能统计出 CQC 法的层间位移比。

两种程序计算的层间位移比相差不大，且均小于规范限值 1.40。但同时也应注意到较多层间位移比超过 1.20，说明结构存在扭转不规则，需要采取必要的措施。

7) 层倾覆力矩

从计算结果可以看出，两种程序计算结果近似，误差较小。风荷载作用下的倾覆弯矩明显小于多遇地震作用下的倾覆弯矩，地震作用为主要的侧向荷载。

8) 层侧移刚度比

从计算结果看，结构侧移刚度未出现明显突变，曲线平滑。在首、二层处，由于大堂部分墙肢开洞较大，层高较高，出现二层刚度减小的情况，但从上下层刚度比来看，满足规范的规定，主体结构未出现薄弱层。

9) 层抗剪承载力比

层抗剪承载力比值是判断结构是否存在承载力突变的指标，本工程最小层抗剪承载力比X方向为 0.87，Y 方向为 0.91，二层以上结构层抗剪承载力比基本都大于 1.00，不存在承载力突变。由于首层和二层的层高较高，且有大堂墙体开洞，层抗剪承载力较上层低，但比值最小 0.87，大于审查要点 0.80 的限值要求。

10) 整体稳定

结构刚重比见表 1-10。

表 1-10 结构刚重比

	X 方向		Y 方向	
	SATWE	ETABS	SATWE	ETABS
刚重比	7.16	6.082	6.93	4.079

数据结果显示两种程序计算所得的刚重比均大于 2.7，弹性计算时可不考虑重力二阶效应的影响。

3. 风荷载作用下结构分析

由于本工程结构高度较大，风荷载对建筑物影响较大，因此考虑两种风荷载作用下的计算工况，并进行了结构的舒适度验算。

1) 位移计算

修正后的基本风压按 50 年一遇取值，不考虑连梁刚度折减，控制结构刚度、层间位移角等。

2) 承载力计算

修正后的基本风压按 1.1 倍的 50 年一遇风压取值，考虑连梁刚度折减，并考虑与其他工况的组合作用，控制结构构件承载力满足要求。

3) 舒适度验算

根据《高层建筑混凝土结构技术规程》（JGJ 3—2010）第 3.7.6 条规定，验算 10 年一遇风荷载标准值作用下，结构顶点的顺风向和横风向振动最大加速度值 $a_{\max}$ 。加速度按《高层民用建筑钢结构技术规程》（JGJ 99—98）第 5.5.1 条公式计算。

4. 多遇地震弹性时程分析

根据《建筑抗震设计规范》第 5.1.2 条规定和《高层建筑混凝土结构技术规程》第 4.3.4 条，拟建项目高度超过 100 m，需要进行弹性时程分析，并根据地震波计算结果对反应谱分析的结果进行调整。

弹性时程分析时，地震波按单向输入和双向输入分别计算。其中，当地震波双向输入时，考虑双向输入的组合作用，采用与反应谱法计算类似的组合，即 $s = \sqrt{s_x^2 + (0.85s_y)^2}$ 和 $s = \sqrt{s_y^2 + (0.85s_x)^2}$ 。

1) 地震波选用

按《建筑抗震设计规范》第 5.1.2 条规定和《高层建筑混凝土结构技术规程》第 4.3.5 条，本工程多遇地震作用下的弹性时程分析，根据上述地震动参数和规范规定，可选取 7 条地震波（其中 2 条人工地震波，5 条天然地震波），采用地震局提供的水平方向地震波以及既往工程搜集的地震波。

将七条弹性时程反应谱平均值与规范反应谱进行比较，结果见图 1-1。

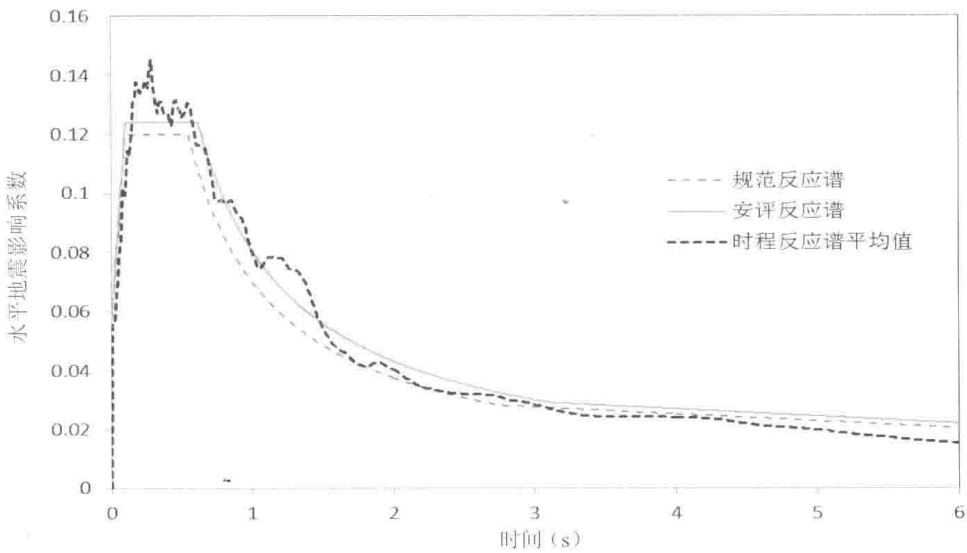


图 1-1 弹性时程反应谱平均值与规范反应谱比较

2) 弹性时程计算基底剪力

不同地震波作用下 SATWE 和 ETABS 计算所得基底剪力结果如表 1-11 ~ 表 1-14 所示。

表 1-11 弹性时程分析计算结果与 CQC 比较（单向地震波输入 SATWE 计算结果）

地震波		X 向		Y 向	
		基底剪力 (kN)	时程 / 反应谱	基底剪力 (kN)	时程 / 反应谱
反应谱法		12 376.73		14 836.26	
时程工况	RD-JR45A	11 271	91.07%	11 350.3	76.50%
	RD-JR45B	13 232.3	106.91%	10 917.3	73.59%
	TD-JR6YD	10 388.1	83.93%	12 984.2	87.52%
	TD-JRX45B	10 927.3	88.29%	14 449.9	97.40%
	TD-JRY45A	10 814.1	87.37%	12 777.5	86.12%
	TD-JRY45B	9 699.4	78.37%	11 302.4	76.18%
	USA00224	10 687.4	86.35%	10 413.9	70.19%
	时程平均值	11 002.8	88.90%	12 027.93	81.07%

表 1-12 弹性时程分析计算结果与 CQC 比较（双向地震波输入 SATWE 计算结果）

地震波		X 向		Y 向	
		基底剪力 (kN)	时程 / 反应谱	基底剪力 (kN)	时程 / 反应谱
反应谱法		12 376.73		14 836.26	
时程工况	RD-JR45A	11 169.7	90.25%	11 271	75.97%
	RD-JR45B	13 249.6	107.05%	10 924	73.63%
	TD-JR6YD	10 372.7	83.81%	12 952.8	87.31%
	TD-JRX45B	10 864.6	87.78%	14 406.6	97.10%
	TD-JRY45A	10 795.2	87.22%	12 836.6	86.52%
	TD-JRY45B	9 704.9	78.41%	11 267.1	75.94%
	USA00224	10 636.9	85.94%	10 363.8	69.85%
	时程平均值	10 970.51	88.64%	12 003.13	80.90%