

**第21届
全国结构工程学术会议
论文集**

第Ⅱ册

**PROCEEDINGS OF THE TWENTY-FIRST NATIONAL
CONFERENCE ON STRUCTURAL ENGINEERING**

No. II

主编：崔京浩

**《工程力学》杂志社
2012.10**

郑 重 声 明

全国结构工程学术会议每年召开一届，并出版论文集属内部学术交流资料。为了扩大影响，确保作者论文能够得到广泛交流和宣传，便于同行学者及有关部门随时查阅、检索和引用，论文组织委员会每届均作如下的承诺和声明：

1. 会议论文集向全国 70 多个省市（包括港澳台地区）200 多所高等学校图书馆和情报部门免费赠送，总数有 300 多套
2. 为了扩大学术交流，会议论文集被中国有关信息部门及学术期刊光盘版收录。
3. 会议严格执行文责自负的原则。关于涉及保密问题及有关抄袭等学术不端行为，均由作者本人负责。

序

一年一度的全国结构工程学术会议去年在宁波渡过了它 20 岁生日，今年在沈阳开始了它 20 周岁之后的第一年——第 21 届全国结构工程学术会议。

沈阳是清王朝入关以前的政治中心，至今有保留完整的沈阳故宫，同时又是西安事变发起人张学良家族的发迹地，至今也保留了当年的一些可供参观的博物馆，如少帅府等。沈阳还是解放前夕辽沈战役的战略重镇之一。

沈阳是我国传统的老工业基地，为解放初期中国经济恢复立下了汗马功劳，但同时带来了严重的城市环境问题，曾一度被列入“世界十大污染城市”。改革开放后，贯彻科学创新和谐发展的理念，随着国家振兴东北计划的开展，沈阳一马当先，优化产业结构，淘汰落后产能，如今一跃成为全国装备制造业的领军城市之一，沈阳人骄傲地说哪里有重大装备，哪里就有沈阳制造。与此同时环境也获得了极大的改善，成为理想的碧水蓝天的国家级优秀旅游城市并获得了明年（2013 年）第 12 届全国运动会的举办权。

今年会议的东道主沈阳建筑大学，学校的前身是 1948 年中国人民解放军东北兵工专门学校的一部分，建国后逐渐发展成以建筑、土木、机械等学科为特色，以工为主，工、管、理、文、农、法、艺术等学科协调发展的省部共建高等学校，又是教育部“卓越工程师教育培养计划”实施的学校之一。校园独具特色体现了建筑美与园艺美、人工美与自然美、野生与农艺、人文与景观的有机结合，是一个学者们共同交流相互切磋的理想园地。

论文集主编 崔京浩



2012 年 10 月

第 21 届全国结构工程学术会议论文集

本次会议论文集收录论文 258 篇，共计 1406 页，分装成 3 册，每册独立编页。第 I 册载入全套论文集的总目录，第 II 册、第 III 册只载本册目录。

第 I 册论文 78 篇（共 476 页），包括特邀报告和两个学科类别：特邀报告；1. 力学分析与计算；2. 岩土、地基与基础、隧道及地下结构

第 II 册论文 93 篇（共 476 页），包括四个学科类别：3. 钢筋混凝土结构、材料与构件；4. 公路、铁路、桥梁、水工与港工；5. 舰船、车辆、机械制造、航空航天结构；6. 设计、施工、加固、优化、可靠度及事故分析

第 III 册论文 87 篇（共 454 页），包括三个学科类别：7. 钢结构、材料与构件；8. 抗震、爆炸、冲击、动力与稳定；9. 新材料、新能源、交叉学科及其他

第 21 届

全国结构工程学术会议

中国 沈阳
SHENYANG CHINA
10.12 ~ 10.15, 2012

主办单位

中国力学学会结构工程专业委员会
沈阳建筑大学
中国力学学会《工程力学》编委会
水沙科学与水利水电工程国家重点实验室(清华大学)
土木工程安全与耐久教育部重点实验室(清华大学)
清华大学土木工程系
辽宁省建筑结构重点实验室(沈阳建筑大学)

学术委员会

主 席 : 袁 驷

委 员 : (按姓氏拼音为序)

白 光 陈 涛 陈以一 陈永灿 崔京浩 葛耀君 龚耀清 桂国庆 韩林海
贾连光 金 峰 李 慧 李爱群 李帼昌 李宏男 刘德富 刘宏民 楼梦麟
聂建国 茹继平 石铁矛 石永久 宋二祥 苏先樾 隋明月 隋允康 孙建恒
王光谦 王怀忠 王全凤 王晓纯 魏德敏 赵唯坚 郑荣跃 周新刚

组织委员会

主 席 : 石铁矛

常务副主席: 韩林海

副 主 席 : 笪可宁 贾连光

委 员 : (按姓氏拼音为序)

包龙生 陈建军 陈瑞三 陈政清 范 峰 高 波 郝际平 金学松 李帼昌
李建中 李英民 李正良 李忠献 刘铁林 陆新征 孙柏涛 汤 伟 唐春安
王庆利 武 哲 辛克贵 徐礼华 许占利 阎 石 杨 华 杨亚政 叶康生
曾 攀 张 鑫 张正威 朱宏平 庄 茁

秘 书 处

秘 书 长 : 李帼昌

副秘书长 : 许占利 包龙生 刘铁林 王庆利 王 强

学术秘书 : 黄丽艳(负责组织论文宣读、排序、分组、评定等学术工作)

秘 书 组 : (按姓氏拼音为序)

金 峤 金 路 李 明 马传政 孟宪宏 任庆新 隋伟宁 王春刚 王占飞
吴 潜 张海霞 张曰果等教师 研究生若干

第 21 届全国结构工程学术会议论文集目录

第 II 册目录

3. 钢筋混凝土结构、材料与构件

天津盘锦和兴大厦超限高层设计研究	边 凯 (001)
低周反复荷载作用下短肢剪力墙结构非线性有限元分析	陈 科 徐亚丰 刘国桢 (006)
港口工程混凝土结构基于全寿命耐久性的使用寿命研究	陈 磊 王立成 连军岭 马 亮 (012)
再生混凝土筒体壁厚对抗火性能影响研究	董宏英 边建辉 曹万林 王攀峰 (018)
基于碳纤维智能层在土木工程检测中的试验研究	黄 敏 姚 沅 邓友生 宋鲁侠 (026)
三线性模型计算混凝土断裂能	冷科治 杨树桐 黄维平 (031)
钢筋混凝土结构疲劳性能研究综述	李富斋 杨晓明 (037)
屈曲约束支撑混凝土框架节点性能的有限元分析	李帼昌 王 硕 田 磊 鲍成园 (043)
钢筋混凝土框架结构拟静力倒塌实验数值模拟	李雁军 吕大刚 王震宇 王光远 (048)
考虑砌体填充墙框架结构倒塌破坏三维仿真分析	刘海卿 刘 鹏 袁 景 (053)
混凝土与砂浆界面粘结性能试验方法研究	刘亚林 杨树桐 黄维平 (058)
大体积混凝土裂缝产生机理与温度场仿真分析	刘海卿 田春鹏 姜伟思 (063)
圆锥形中空钢管—钢筋混凝土叠合短柱轴压力学性能研究	任庆新 孙明海 贾连光 刘德清 (067)
X 形配筋增强异形柱节点受力性能试验研究	戎 贤 张健新 李艳艳 (076)
PBL 剪力键力学性能的研究现状及展望	苏小波 李小珍 肖 林 卫 星 易虹岚 (082)
基于压电波动法的混凝土裂缝损伤监测技术	孙 威 阎 石 焦 莉 宋钢兵 (090)
钢筋混凝土受弯构件的变形控制方法	田 磊 陶 鹏 张春敬 (097)
碳纤维混凝土力学性能与破坏形态试验研究	王晓初 刘洪涛 周 乐 (106)
按梁实配纵筋进行混凝土框架结构抗强震设计的软件及实例分析	王依群 王 鑫 (112)
超低温冻融循环对混凝土材料性能的影响	魏 强 谢 剑 吴洪海 (117)
锈蚀钢筋混凝土受弯构件抗剪性能有限元分析	徐善华 李钰茹 袁 博 (125)
大体积混凝土早期应变监测研究	徐兆全 (130)

装配式农村住宅结构体系研究	许德峰 刘海成 贾连光 (136)
大体积混凝土早期相对受压区高度研究	许丽佳 于德湖 张云峰 周禹鑫 (141)
海水腐蚀下钢筋混凝土梁正截面试验研究及有限元分析	阎西康 陈 晓 陈 培 (147)
局部断裂能在砂浆试件中的分布规律研究	杨树桐 黄维平 (152)
FRP 约束钢管混凝土柱应力-应变关系研究	于 峰 武 萍 (158)
矿渣微粉对水泥早期强度影响的试验研究	张世义 范颖芳 栾海洋 (162)
劲性环梁式钢管混凝土节点受力性能研究	赵 毅 徐礼华 程 康 刘 斌 (167)
CFRP 加固海水侵蚀钢筋混凝土梁的有限元分析	阎西康 高 扬 陈 培 (174)
基于 OpenSEES 钢筋混凝土剪力墙非线性分析	周博文 种 迅 叶献国 解琳琳 (178)

4. 公路、铁路、桥梁、水工与港工

三点弯曲纤维增强混凝土缺口梁的断裂性能试验研究	曹 鹏 冯德成 曹一翔 左文铎 (184)
考虑桩土效应的大跨度斜拉桥动力特性分析	陈永健 张 超 许 莉 房贞政 叶坚波 (189)
基于准静态影响线的桥梁承载能力评定	杜 青 史文军 李晓会 (193)
波浪对水平圆柱作用力的理论分析	付韵韵 王国玉 任 冰 王永学 (197)
后张预应力桥梁中间锚固区的拉压杆模型方法	贺志启 刘 钊 (204)
超载导致钢筋混凝土拱桥倒塌的破坏模拟	黄盛楠 陆新征 郑建春 朱 伟 (210)
W 型截面复合材料波纹腹板箱梁弯曲应力分析	季 易 袁端才 (218)
高速列车过隧道、明线会车及隧道会车工况下的动力响应研究	 赖 姜 曾晓辉 孙振旭 杨国伟 (222)
周期性高架桥在面外振动下的缺陷态能带与模态	雷 力 陆建飞 (226)
基于动力参数模型修正的桥梁承载能力评定	杜 青 王迎松 李晓会 (231)
预应力混凝土箱梁的剪切变形及其影响分析	刘 杰 李宏江 叶见曙 (235)
多板交汇复杂板壳结构应力分布仿真和裂纹扩展原因分析	刘 园 卢凯良 张卫国 宓为建 (242)
大跨度连续刚构拱桥有限元建模的吊杆力研究	刘 志 谢官模 (248)
现浇砼梁板+钢格构柱组合式新型铁路便桥设计研究	刘传平 贾 坚 张志彬 李 奇 (252)
不同设计参数下曲线矮塔斜拉桥地震响应分析	刘昊苏 董 军 杨 昀 (257)
襄樊汉江五桥有限元分析中拱肋处理的对比研究	刘金虎 谢官模 (261)
雷诺数效应对斜拉索气动特性的影响	刘庆宽 郑云飞 马文勇 刘小兵 (265)
双幅典型断面静力系数气动干扰试验研究	刘小兵 杨 群 (271)

环境激励下自动化码头车桥耦合振动分析和结构安全评估.....卢凯良 宓为建 张卫国 (276)

采空区路基治理后沉降观测分析路 明 吴俊梅 (285)

TMD 对高速列车通过简支箱梁桥时振动控制及参数优化.....路 萍 陈上有 郭文华 (290)

基于响应面的嵩口大桥有限元模型修正研究牛 杰 褚福鹏 王龙花 宗周红 (296)

地震作用下的桥梁碰撞模拟分析申爱国 吕 龙 申翰林 (305)

高速铁路桥梁声屏障动力仿真与设计理论研究施 洲 张双洋 高玉峰 邓 跃 (309)

超大宽度多箱室预应力混凝土连续梁桥梁格法有限元分析.....王 奇 谢官模 (316)

浮筒式防风单点系泊系统系泊线特性分析夏运强 王绿卿 (320)

基于聚类分析的大型桥梁结构健康监测数据异常识别研究.....张立涛 张宇峰 (324)

陡槽高速泄流掺气减蚀试验研究张陆陈 骆少泽 王 新 (328)

两种车桥耦合振动接触模型的比较研究张晓宇 彭 献 马俊升 张瑞鹤 赵跃宇 (333)

基于 MIDAS/FEA 的大宽度预应力混凝土连续梁桥成桥状态分析吴孝清 谢官模 (337)

一座国际桥梁研究新平台的静动力试验研究周 云 易伟建 (341)

不同荷载速度下沥青路面位移和应力分析周兴业 王旭东 王喜燕 沈国辉 (345)

加权残值法在梯形加劲梁中的应用张晓宇 彭 献 王春雨 刘腾喜 赵跃宇 (349)

5. 舰船、车辆、机械制造、航空航天结构

高速列车裙板颤振数值模拟段虎平 徐永君 贾光辉 (353)

轴表面粗糙度引起的船体板架振动特性研究李 卓 陈 林 谢晓忠 徐 伟 庞福振 (357)

沿海地区近地边界层强/台风的统计特征分析史文海 董大治 李正农 (364)

活塞横向运动及其对活塞环径向失效的影响吴 晗 曾晓辉 徐万海 虞 钢 (370)

船用柴油机水冲击动力作用轴系的主参数共振杨志安 程欣桐 (374)

考虑弹性影响的活塞环动力响应余 杨 曾晓辉 徐万海 虞 钢 (379)

一端自由一端固支曲线梁的自由振动张 良 史 民 曾晓辉 (383)

6. 设计、施工、加固、优化、可靠度及事故分析

多工况下输电铁塔结构系统可靠度计算陈卫东 李建操 于艳春 孙 刚 夏开全 (387)

我国沿海低矮民居风灾统计及破坏机理分析戴益民 王相军 闫旭光 孙洪鑫 李永贵 (391)

基于验证荷载信息的桥梁构件可靠度修正樊学平 吕大刚 (395)

某中学办公楼抗震鉴定与加固设计	韩明飞 郑七振 杨 珏 宁 涛 (399)
模板约束对地下室墙体开裂影响的试验研究	贾均磊 张同波 于德湖 李翠翠 (404)
混凝土两铰圆弧拱的面内徐变稳定性	蒋 伟 吕大刚 (409)
三元区间数有限元法的应用	李 超 刘长虹 覃新川 (413)
大直径筒仓仓顶支撑体系的设计和施工	李勤山 王铁成 (416)
某既有建筑抗震加固方案对比	李忠煜 郑 云 惠云玲 (420)
同步抬升平移方案在道生碱店平移工程中的应用	林 伟 柳玉印 孙 肃 (425)
考虑风致漂移的雪荷载规范比较	孟绍军 刘庆宽 马文勇 刘小兵 (430)
基于统计分析的钢管塔环板节点有限元模型修正	荣志娟 王学明 严立新 吕宝华 张 陵 (436)
某钢框架加固改造处理方案实例分析	田佳甲 汪君锐 (440)
混凝土浇筑期高大模板支撑体系的受力性能研究	谢 楠 郝 鹏 尹智宏 郭军晓 (445)
中江国际大厦办公楼超限结构设计	徐利华 吴敏捷 (451)
高速公路跨越天然气管线桩基施工振动监测	徐有刚 冯加权 杜 强 王玉军 魏晓贞 吕 明 (455)
某地下室上浮的受损机理分析及加固处理	杨雪瑞 何 源 高文艺 (459)
高支模支架体系稳定性的模拟分析	张 健 苗建伟 王晓新 何宝琛 (462)
TLJ-500 土工离心机动力学特性研究	赵宝忠 徐有刚 杜 强 赵玉虎 (467)
综合法在某高层建筑加固中的应用	朱国良 冯建州 (472)

天津盘锦和兴大厦超限高层设计研究

边 凯

(天津市天元建筑设计有限公司, 天津 300381)

摘 要: 天津盘锦和兴大厦高 154.5 米, 高度超限, 采用框架-核心筒结构。设计中提出结构抗震性能目标, 进行罕遇地震下变形计算, 采取了相应的技术措施。

关键词: 和兴大厦; 超限高层; 性能设计

1 工程概况

天津盘锦和兴大厦位于天津塘沽区响螺湾, 由天津和兴恒富投资有限公司投资兴建, 天津市纳川建筑设计有限公司担负设计工作。本工程建筑面积约 8.25 万平方米, 主楼地上 37 层, 高度为 154.5 米, 采用框架-核心筒结构; 副楼地上 8 层, 高度为 38.9 米, 采用框架结构; 地上主楼与副楼采用防震缝断开。地下两层, 将主楼和副楼连在一起。本文仅对主楼设计作一简要分析, 主楼标准层结构简图见图 1。

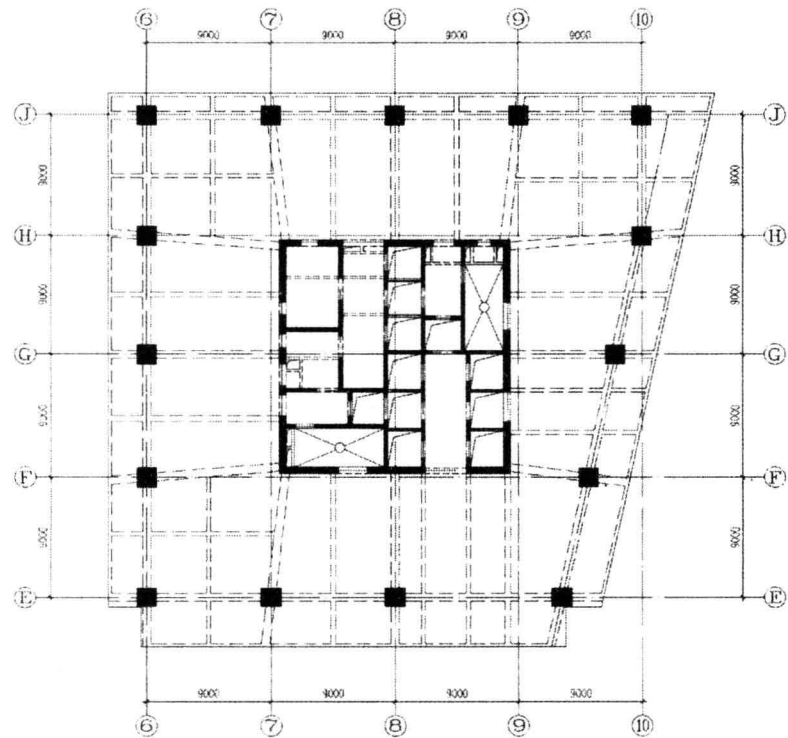


图 1 标准层结构平面图

根据《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ3—2002)^[1], 框架-核心筒结构在 7 度区的最大适用高度为 130 米, 本工程主楼高度超过此限值, 属于高度超限的结构, 在初步设计阶段进行了超限审查。此外按照塘沽建委的要求, 由塘沽建委组织进行了结构审查。

2 结构计算主要参数

主楼的结构安全等级为二级; 桩基和基础设计等级为甲级; 抗震设防类别为丙类; 抗震设防烈度为 7

作者简介: 边 凯(1967—), 男, 天津人, 高工, 硕士, 总工程师, 从事建筑结构设计(E-mail:biankai1710@yahoo.com.cn)

度，设计及基本地震加速度为 0.15g，设计地震分组为第一组；场地土类别为Ⅲ类，特征周期按插入法为 0.52 秒；建筑结构阻尼比为 0.05；基本风压值为 0.6kN/m²，场地地面粗糙度为 B 类。

上部结构的嵌固端设在地下一层顶板；考虑双向水平地震作用下的扭转影响；振型数取 36；周期折减系数为 0.85；连梁刚度折减系数取为 0.5；计算中，框架抗震等级采用一级，剪力墙抗震等级采用一级。

对建筑柱墙梁板重复计算的重量进行了核算，在考虑柱墙抹灰的情况下，柱墙梁的折算容重大约在 23.5kN/m³。所以，柱墙梁的折算容重偏于安全地取为 24kN/m³。

3 结构体系及布置

主楼为钢筋混凝土框架-核心筒结构，核心筒位于建筑中央，外轮廓尺寸为 17mx17.6m，核心筒外墙 600 递减至 400，混凝土强度由 C60 递减至 C40。框架柱采用钢筋混凝土柱，断面由 1600x1600 递减至 900x900，混凝土强度由 C60 递减至 C40。典型楼面梁断面为 700x700，外框架梁断面为 600x850，混凝土强度为 C40。楼板为现浇楼板。

4 结构抗震性能目标

本工程对在不同水平地震作用下的结构构件提出了相应的性能目标^[2]，详见表 1。

表 1 抗震性能目标

地震烈度	多遇地震	设防烈度	罕遇地震
性能等级	完好		不倒塌
层间位移	小于 1/779		小于 1/100
框架梁	弹性	可出现塑性铰	可出现塑性铰
框架柱抗弯	弹性	按规范要求	按规范要求
框架柱抗剪	弹性	按规范要求	按规范要求
核心筒抗弯	弹性	不屈服	角部允许出现刚度退化
核心筒抗剪	弹性	弹性	满足截面抗剪控制条件 0.15f _{ck} bh ₀
连梁	弹性	可出现塑性铰，不发生剪切破坏	可出现塑性铰，不发生剪切破坏

5 弹性分析结果

计算模型采用 SATWE 和 TAT 两种不同计算模型的软件，主要计算结果见表 2 和表 3。计算结果显示其周期、位移等计算结果接近。

以下对 SATWE 的计算结果作一简单分析：

- 5. 1 计算振型数取 36，振型质量参与系数均大于 98%。
- 5. 2 在考虑偶然偏心影响的地震作用下，楼层竖向构件的最大水平位移与该楼层平均值的比，均小于 1.4；结构扭转为主的第一自振周期 T₁与平动为主的第一自振周期 T₁之比为 0.69。
- 5. 3 楼层侧向刚度均大于相邻上部楼层侧向刚度的 70%和其上相邻三层侧向刚度平均值的 80%。
- 5. 4 楼层层间抗侧力结构的受剪承载力均大于其上一层受剪承载力的 80%。
- 5. 5 楼层层间最大位移与层高之比，X 方向为 1/979，Y 方向为 1/1031。
- 5. 6 底部加强部位的剪力墙在重力荷载代表值作用下的轴压比均在 0.5 之内。
- 5. 7 框架柱采用矩形混凝土柱，轴压比超过一级抗震等级的限值 0.75，经核算，框架柱剪跨比均大于 2。采用沿柱全高设置复合井字箍的措施，以满足规范要求^[3]。对框架按计算所得的地震剪力乘以调整系数，使其值达到不小于结构底部总地震剪力的 20%和框架部分楼层最大剪力 1.5 倍二者中的较小值。
- 5. 8 首层存在两处共享空间，一是建筑南面一至三层在入口处存在三层高共享空间，二是建筑西北角一至二层为两层高共享空间。经计算均满足要求。
- 5. 9 X 方向和 Y 方向的顺风向顶点最大加速度和横风向顶点最大加速度，计算结果均小于 0.15m/s²，满足规范要求。

表 2 SATWE 主要计算结果

结构自振周期(秒)	$T_1=3.523, T_2=3.347, T_3=2.431(t), T_4=0.996, T_5=0.952(t), T_6=0.882$			
	注：括号中的 t 表示以扭转为主的第一自振周期 $T_1, T_6/T_1=0.69$			
	方向		X	Y
风荷载作用	位移	最大层间位移角	1/1798	1/1797
	位移	最大层间位移角	1/979	1/1030
地震作用	基底弯矩	$M_0(KN \cdot m)$	2075804.25	2085008.75
		剪力墙所占比例	73.29%	77.23%
	基底剪力	$Q_0(KN)$	23709.44	24061.99
		剪力墙所占比例	80.23%	83.31%
		剪重比 Q_0/G	2.43%	2.46%
	总重量	$G(KN)$	976275.08	

表 3 TAT 主要计算结果

结构自振周期(秒)	$T_1=3.307, T_2=3.152, T_3=2.356(t), T_4=0.944(t), T_5=0.911, T_6=0.847$			
	注：括号中的 t 表示以扭转为主的第一自振周期 $T_1, T_6/T_1=0.712$			
	方向		X	Y
风荷载作用	位移	最大层间位移角	1/1924	1/1930
	位移	最大层间位移角	1/1146	1/1088
地震作用	基底弯矩	$M_0(KN \cdot m)$	2024569	228549.88
		剪力墙所占比例	95%	95%
	基底剪力	$Q_0(KN)$	23014.5	23253.43
		剪力墙所占比例	95%	95%
		剪重比 Q_0/G	2.41%	2.42%
总重量	$G(KN)$		960291	

6 弹性时程分析

按照规范要求^[4], 采用弹性时程分析法进行多遇地震下的补充计算, 选用不少于二组的实际强震记录 and 一组人工模拟的加速度时程曲线。计算按双向地震输入, 主次方向地震波峰值比为 1: 0.85。弹性时程分析计算结果详见表 4。

Y 方向 28 层至顶层, 弹性时程分析的平均结果大于按振型分解反应谱法计算的地震剪力, 将 28 层至顶层的地震剪力分段放大。计算结果表明, 柱、梁配筋略有加大。

表 4 弹性时称分析计算结果

计算方法	分项	X 方向	Y 方向
反应谱法	基底剪力(KN)	23709.44	24061.99
天然波一	基底剪力(KN)	21553.5	24974.3
	最大层间位移角	1/1020	1/1285
天然波二	基底剪力(KN)	20788.0	18195.3
	最大层间位移角	1/1214	1/1337
人工波	基底剪力(KN)	21300.0	24470.3
	最大层间位移角	1/1052	1/1069
平均值	基底剪力(KN)	21213.7	22546.6
	与反应谱法的比例	0.895	0.937

7 结构中震抗弯不屈服和抗剪弹性计算

采用 SATWE 进行中震抗弯不屈服和抗剪弹性计算, 地震影响系数取 0.34。抗弯不屈服计算时地震作用效应组合的分项系数均取 1.0, 承载力抗震调整系数取 1.0, 材料强度取标准值; 并按《关于加强超限高

层建筑工程抗震设防审查技术把关的建议》的要求，考虑因水平构件塑性变形使刚度降低、阻尼加大的影响，采取阻尼比增大至 0.06 的方法对地震作用进行调整。抗剪弹性计算时，考虑荷载的分项系数和承载力抗震调整系数，材料强度取设计值。

8 罕遇地震下弹塑性变形计算

本工程采用 Madis Building 软件进行罕遇地震下弹塑性动力分析，选用二组的实际强震记录和一组人工模拟的加速度时称曲线，与弹性时程分析采用的是不同的两组波。采用双向地震输入，主次方向地震波峰值比为 1: 0.85。层间弹塑性位移角计算结果见表 5。计算结果表明，在罕遇地震作用下，X 方向最大层间弹塑性位移角为 1/117，Y 方向最大层间弹塑性位移角为 1/115，均满足规范 1/100 的限值要求。

表 5 弹塑性时程分析计算结果

计算方法	分项	X 方向	Y 方向
反应谱法小震计算结果	基底剪力(KN)	23543.70	23721.23
天然波一	基底剪力(KN)	77467.33	76549.93
USER5	最大层间位移角	1/117	1/118
天然波二	基底剪力(KN)	79605.03	76691.70
USER6	最大层间位移角	1/133	1/141
人工波	基底剪力(KN)	75740.88	74917.20
USER4	最大层间位移角	1/117	1/115
弹塑性大震计算平均值	基底剪力(KN)	77604.41	76052.94

从输出结果分析，框架柱普遍进入开裂状态，个别位置进入屈服状态形成塑性铰。框架梁形成塑性铰的情况较多。墙铰以损伤情况界定，剪力墙普遍出现截面刚度退化现象，受拉开裂，程序分别输出了墙肢在竖直、水平的总应变与屈服应变的比值。竖直和水平方向的比值小于 1，说明墙肢未达到屈服状态，损伤不严重。从整个塑性铰的输出结果分析，满足抗震设防要求。

在相当于 5 倍小震的罕遇地震作用下，核心筒外墙均能满足受剪截面的截面控制条件 $0.15f_{ck}bh_0$ 。

9 桩基和基础设计概况

主楼采用后注浆钻孔灌注桩，有效桩长为 53 米，桩径为 0.8 米^[5]。副楼和地下部分为钻孔灌注桩和钻孔灌注抗拔桩，有效桩长为 23 米，桩径 0.6 米。塔楼处底板厚 2400mm，其余基础底板厚 1000mm，混凝土等级为 C40。主楼与其余部分之间预留后浇带，以解决主楼与其余部分的沉降差异。地下混凝土抗渗等级为 S8。人防区域位于地下二层，人防的抗力等级为防常规武器抗力级别 6 级和防核武器抗力级别 6 级。

10 主要技术措施

本工程塔楼平面及立面均较简单、规则，结构计算的各项指标均能满足规范要求，严格按规范对 B 级高度高层的要求进行设计，具体技术措施如下：

- 10.1 底部加强区的竖向构件的性能目标满足抗剪承载力中震弹性、抗弯承载力中震不屈服。
- 10.2 核心筒按特一级采取抗震构造措施，底部加强部位按规范要求取至七层(含上延的一层)。底部加强区在核心筒外墙增设型钢。核心筒在底部加强区以上，且轴压比大于 0.25 的部分，边缘构件的箍筋参照约束边缘构件的箍筋要求设置。
- 10.3 对于跨高比不大于 2 的连梁配置交叉暗撑以提高连梁的延性。
- 10.4 对不满足轴压比要求的框架柱，采用沿柱全高设置复合井字箍的措施。为提高框架柱的延性，在底部加强区增加芯柱，芯柱配筋率控制在 0.4~0.5%之间。
- 10.5 底层越层柱部位，长柱的抗弯承载力按中震不屈服计算、抗剪承载力提高至与短柱相同；短柱的抗弯承载力按中震不屈服计算、抗剪承载力按中震弹性计算，构造满足一级抗震的要求。
- 10.6 对于按振型分解反应谱法计算的地震剪力小于弹性时程分析的平均结果的楼层，将其地震剪力放大