

PROCEEDINGS OF THE 7th NATIONAL CONFERENCE ON EARTHQUAKE ENGINEERING

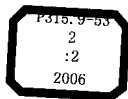
第七届全国地震工程学术会议论文集

(下)

中国建筑学会抗震防灾分会
中国地震学会地震工程专业委员会
中国地震工程联合会
广州大学



地震出版社



第七届全国地震工程学术会议 论文集

PROCEEDINGS OF THE 7th NATIONAL CONFERENCE ON
EARTHQUAKE ENGINEERING

(下)

中国建筑学会抗震防灾分会
中国地震学会地震工程专业委员会
中国地震工程联合会
广州大学

地震出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

第七届全国地震工程学术会议论文集/中国建筑学会抗震防灾分会等编.

—北京:地震出版社,2006.11

ISBN 7-5028-3044-8

I. 第… II. 中… III. 地震工程—学术会议—文集 IV. P315.9-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 124955 号

地震版 XT200600193

第七届全国地震工程学术会议论文集 (上, 下)

中国建筑学会抗震防灾分会

中国地震学会地震工程专业委员会

中国地震工程联合会

广州大学

责任编辑: 王伟 李玲 董青

责任校对: 庞娅萍 张晓梅 孙铁磊 宋玉 郭京平

出版发行: **地震出版社**

北京民族学院南路9号

邮编: 100081

发行部: 68423031 68467993

传真: 88421706

门市部: 68467991

传真: 68467991

总编室: 68462709 68423029

传真: 68467972

工程图书出版中心: 68721991

E-mail: seeis@ht.rol.cn.net

经销: 全国各地新华书店

印刷: 北京鑫丰华彩印有限公司

版 (印) 次: 2006 年 11 月第一版 2006 年 11 月第一次印刷

开本: 889 × 1194 1/16

字数: 3000 千字

印张: 92.5

印数: 001 ~ 650

书号: ISBN 7-5028-3044-8/P · 1301 (3622)

全套定价: 240.00 元

版权所有 翻印必究

(图书出现印装问题, 本社负责调换)

目 录

(上)

专题报告

我国结构减震控制的研究应用与发展	周福霖 杨 铮 周 云等 (3)
大坝抗震中的高性能计算	陈厚群 马怀发 涂 劲等 (14)
强震地面运动和结构地震响应的若干研究	周锡元 王国权 俞瑞芳等 (24)
关于建筑抗震设计规范修订的若干设想	王亚勇 戴国莹 (39)

一、强震观测、地面运动与震害

中国数字强震台网	周雍年 李小明 杜 玮等 (45)
测震台网记录在合成场地设计地震波中的应用	林建生 谢文杰 陈俊峰等 (50)
对新一代地震动衰减关系研究的看法	陶夏新 孙晓丹 陶正如 (58)
地震波在多层饱水地层中的传播和对地面运动的影响	崔 杰 王祥健 门福录 (66)
平稳地震地面运动改进金井清谱的相关函数模型	李鸿晶 孙广俊 任永亮 (74)
基岩地震动峰值加速度与有效峰值加速度关系研究	郭明珠 张 蛟 唐柏林 (83)
强震地面运动的频域模型研究	安自辉 李 杰 (89)
地震地面运动随机过程的正交展开	
——基于 Clough - Penzien 功率谱	刘章军 李 杰 (95)
基于地震强度和能量控制的一般随机地震动模型研究	王志华 陈国兴 刘汉龙 (103)
多点地震动输入综述	樊 珂 阎维明 (113)
基于相位差谱的国家体育场多点激励地震动场生成	刘文华 杨庆山 田玉基 (123)
基于 GIS 地震地面破坏预测系统的初步研究	陈士军 袁晓铭 (130)
利用地理信息系统进行场地地震动分析	江静贝 符圣聪 黄世敏等 (136)
含双椭圆形孔洞凸起地形对瞬态 SH 波的散射与 动应力集中	齐 群 郭 晶 姚 东等 (141)
SH 波对浅埋可移动圆柱形刚性夹杂的散射与地震动	杨在林 齐 辉 姚 东等 (150)
基于 ANSYS 的波动有限元程序前处理研究	刘红帅 薄景山 刘德东 (157)
破裂过程的数值方法	赵纪生 刘艳琼 陶夏新等 (161)
逆断层工程破坏作用初探	柔 洁 沈 军 姜 慧 (170)
GIS 技术在城市活断层研究中的应用现状及前景	毛雅萍 姚保华 李鸿晶 (175)
上海地区深部孕震构造环境探测研究	姚保华 章振铨 王家林等 (182)
钢筋混凝土框架结构的地震动潜在破坏势研究	郝 敏 谢礼立 (195)
近断层地面运动速度大脉冲的产生机理和震害特点探讨	姜 慧 黄剑涛 韦 韬 (202)
基于卫星图片的建筑物震害预测及易损性分区	
——以北京市通州区为例	周 健 黄崇福 顾林生等 (211)
2003 年 2 月 24 日新疆巴楚—伽师 6.8 级地震房屋震害 调查与分析	尹力峰 唐丽华 沈 军等 (218)
广东非天然地震的识别与研究	林 伟 杨 选 吴永权 (227)
地震危险性分析与概率设定地震及其在城市震害预测中的应用	周克森 (235)

二、场地效应与地基反应分析

强夯处理后黄土地基的抗震性能	王兰民	孙军杰	王 峻	(247)
土-地下结构非线性动力相互作用理论及其应用	宰金珉	庄海洋	陈国兴	(255)
阻尼比对动力SSI体系的影响作用	谭高铭	张之颖	王洪卫	(264)
土层刚度对土与结构相互作用的影响分析	刘 健	廖红建	张志刚	(269)
桩-土-结构动力相互作用分析模型的研究	刘立平	李英氏		(275)
深厚软弱地基上土-地铁区间隧道非线性动力相互作用 ——位移和加速度反应		庄海洋	陈国兴	(283)
地震作用下桥梁桩基础m法和p-y曲线法的分析比较	燕 斌	王志强	王君杰等	(290)
液化地基上建筑物不均匀震陷机理初步研究	孟凡超	袁晓铭	孟上九	(299)
考虑碎石桩复合地基多种抗液化作用的设计方法	黄春霞	张鸿儒	隋志龙	(307)
动力排水固结法在液化地基处理中的应用	曹华健	张季超	许 勇等	(313)
一种砂土液化判别方法	张 毅	刘利艳	林慧常等	(319)
国内外砂土液化判别方法研究进展述评	曹振中	袁晓铭	孙 锐	(324)
粉粒含量对砂土抗液化能力的影响分析	刘利艳	张 毅	潘 健	(331)
砂土地震液化大变形试验研究进展	孙恒鑫	周小文	何元璐等	(337)
南水北调中线穿黄工程砂基地震液化研究		周小文		(343)
场地上体参数的非线性性质反演	闫晓荣	杨 峻	李津萍等	(350)
无限单元在地基动力反应中的应用	岳庆霞	史晓军	冯明国	(356)
饱和土中端承桩纵向振动引起土层动力反应阻抗研究	余 俊	尚守平	王海东等	(363)
软土动态残余应力势模型及其工程应用	陈学良	金 星	陶夏新	(370)
准噶尔盆地东南缘的地质背景与典型场地的 报告	伊力亚尔·阿布力孜	高 杰	伊力峰	(380)
高架线路、桥梁场地效应与工程勘测	彭承光	李运贵	卢德华	(387)
用Fortran9.0和Delphi7.0混合编制地震安全性评价在 Windows下计算与绘图一体化软件			闻则刚	(391)

三、结构地震反应分析

高强钢筋混凝土框架结构抗震性能的

分析研究	叶列平	Asad Ullah Qazi	陆新征等	(401)
复杂结构随机地震响应与抗震可靠度的研究进展			李 杰	(408)
混凝土核心筒在高层建筑中的应用及抗震研究综述	史庆轩	门进杰	王秋维	(417)
多层砌体结构房屋层间墙体的水平地震剪力分配研究		张文芳	常建兰	(422)
高层建筑钢筋混凝土新型剪力墙结构塑性研究	刘建新	王红国	张新华	(429)
预制装配混凝土框架结构抗震特性分析	秦 亮	张季超	刘晓东	(433)
行波效应下大跨度门式桁架结构的抗震分析	苏 亮	完永海	董石麟	(438)
连接方式对带连廊复杂体型高层结构抗震性能的影响	刁云云	黄震云	刘 坚等	(446)
配有高强钢筋的高强混凝土圆柱抗震性能研究		张曰果	阎 石	(455)
水平作用下偏心支撑钢框架的抗震性能研究		汤爱平	尹海鹏	(463)
基于匀质化技术的砌体结构抗震分析	徐祖林	叶志明	陈玲俐	(471)
不同连梁跨高比对高层框筒-剪力墙结构整体抗震性能的 影响		李玉楼	黄震云	刁云云 (477)
基于可靠度的抗震性能评估之研究现状			张海燕	成尚锋 (483)

多层不对称结构的非线性静力分析和抗震性能评估	吴琴峰	梁兴文	黄 艳 (489)
静力与动力弹塑性方法的比较研究	吴晓涵	骆剑峰 (495)	
混凝土砌块结构静力非线性分析	熊立红	陆 鸣 (502)	
抗震结构等延性位移比谱研究	翟长海	李 爽 谢礼立等 (509)	
考虑非弹性位移需求的能量谱	丁玉春	朱 晔 (516)	
钢筋混凝土构造推覆分析之研究——框架	林增吉	许资生 (521)	
钢筋混凝土推覆分析方法之模拟研究——剪力墙	林增吉	许资生 吕西林 (533)	
含振型耦合的适应性水平荷载模式对结构 POA 分析的影响	杨 成	李英民 杨 涛 (541)	
现代科学技术在工程结构抗震研究中的应用	钟蔚龙	张永山 (547)	
大震作用下建筑结构非线性分析软件研究	李云贵	聂 祺 (552)	
有限元分析软件 ABAQUS 在结构弹塑性地震时程分析中的应用	孙 鹏	赵宪忠 (562)	
钢筋混凝土框筒结构节点有限元分析	胡奕弟	魏陆顺 张永山 (570)	
超长建筑结构多点激励地震分析	何伟明	汪 洋 姚建峰 (575)	
多维地震作用下非对称高层结构随机地震响应分析的高效算法	李丽梅	陆铁坚 (580)	
偏心结构地震反应分析及改善	吴大鹏	陈忠根 (586)	
网架与下部支承体系整体结构地震反应分析	朱一平	叶献国 (595)	
高等钢结构分析中的精炼塑性铰模型	吕秋鸿	李 波 (602)	
延性抗侧力钢结构	余安东	兰银娟 王 恒 (609)	

四、建筑结构抗震设计、鉴定、加固和改造

钢筋混凝土框架—核心筒结构基于位移抗震设计	钱稼茹	徐福江 (619)
考虑全概率和后果的抗震设计方法	王自法 (627)	
高强度绞线网片—聚合物砂浆复合面层综合加固技术试验研究	王亚勇	姚秋米 (634)
混凝土框架节点碳纤维布抗震加固新方法研究	沈巧玲	江伟良 周福霖 (643)
考虑振型影响的基于结构变形抗震设计方法研究	李应斌	史庆轩 刘伯权 (652)
基于性能化的抗震设计在复杂、超限结构工程的应用	江 民 林奉军 汪 洋等 (660)	
基于性能的抗震设计理论综述述评	门进杰	史庆轩 杨 君 (670)
基于凸集模型的界限 Pushover 分析	贾立哲	段忠东 陆钦年 (676)
建筑性能设计方法与常规设计方法的比较	梁兴文	吴继伟 邓明科 (687)
钢筋混凝土异形柱截面变形能力设计方法研究: (I) 屈服曲率的 计算	张 伟	梁兴文 (692)
钢筋混凝土异形柱截面变形能力设计方法研究: (II) 极限曲率和 曲率延性系数的计算	梁兴文	张 伟 (702)
考虑双向水平地震作用的结构抗震设计问题	李英民	赖 明 (712)
一种剪力墙宏模型的分析研究	陈立建	梁兴文 (717)
一种半刚性连接弯矩—转角特性的探讨与改进	赵必大	郝际平 王连坤等 (722)
一种新型穹顶结构的动力特性分析	敖国胜	徐 丽 周福霖 (730)

(下)

超高层连体双塔建筑的方案选择	侯家健	韩小雷 谭 平等 (735)
地下室顶板有高层的高层建筑抗震措施研究	韩 军	李英民 蔡辉腾 (741)
框架剪力墙结构楼板裂缝分析	史铁花	陈国斌 (748)
油田作业区典型建筑物的抗震鉴定实践	王 坚	高 杰 张 勇等 (752)
钢结构高层抗震鉴定实例	胡国玺	屈文俊 刘红力 (760)

一座钢筋混凝土烟囱的抗震鉴定与分析	张 专 (765)
结构改造加固设计	王昌兴 沈 军 李沛峰 (770)
现有体育场馆加固改造工程抗震加固方法研究	唐曹明 史铁花 郑久建等 (781)
粘滞阻尼器在加固工程中的应用	张文华 汪大洋 周 云 (787)
基于环境激励数据的旧桥加固效果的评估方法研究	邱 波 张 云 (796)

五、结构隔震、消能与减震控制

复杂高层建筑结构抗震与结构控制研究及其应用	吕西林 翁大根 (803)
分散式 TLD 及其减振性能的研究	叶列平 陆新征 侯建群等 (812)
结构半主动变刚度变阻尼控制及其位置优化	谭 平 周福霖 闫维明 (818)
等值线性分析方法于消能减震结构的应用	陈清祥 潘 琪 (827)
消能减震技术在大型体育场馆中应用的研究	韩 雪 薛彦涛 (833)
工程结构减振中粘滞阻尼器性能及计算方法的研究	郭永刚 赵晓飞 张 霖等 (839)
工程结构中阻尼器的选型和数量确定以及布置探讨	刘建安 洗巧玲 (846)
剪切型 MDOF 粘滞阻尼消能减震结构地震位移反应分析	经 杰 叶列平 (850)
粘滞流体阻尼消能减震结构设计方法探讨	李福文 周福霖 (856)
SRIM 粘滞阻尼器结构控制上的应用及展望	徐 斌 周红卫 陈济坤 (861)
粘滞流体阻尼器对高耸电视塔地震响应的减振分析	张志强 李爱群 徐幼麟等 (870)
TMD 减震钢框架有限元分析及其试验模型参数设计	潘琴存 熊世树 黄丽婷 (878)
地震作用下高层结构建筑振动控制分析	张文福 王福成 刘迎春 (884)
磁流变阻尼控制技术与理论在土木工程中的应用研究进展	廖红伟 周 云 (887)
LQR 算法控制磁流变智能隔震系统的数值模拟与试验研究	付伟庆 丁 琳 张永山 (897)
高层建筑多自由度结构体系 AVS/D 多振型控制	赵 林 陈 峰 (903)
利用马-奥共存状态下形状记忆合金的结构振动控制	阎 石 邢 博 GangbingSong (909)
合金形状记忆效应在土木工程中的应用	王凤华 黄震云 (915)
隔震建筑结构的风振观测与初步分析	金 星 韦永祥 康兰池 (923)
三维隔震系统研究	孟庆利 张敏政 (932)
隔震技术在底部大空间结构中的应用研究	王阿萍 姚谦峰 (939)
结构竖向隔震与三向隔震装置的研究现状	聂一恒 邓雪松 周 云 (944)
有关基础隔震结构设计相关问题的讨论	祁 皓 范宏伟 (953)
一种新颖隔震装置的设计和应用	杨 俊 (958)
逆变型 MR 阻尼器的磁路改进及仿真分析	董 彬 闫维明 (963)
基础隔震建筑软碰撞耗能分析	韩 森 李仙华 伍大维 (969)
某隔震结构的地震反应分析	李淑文 闫维明 王宁等 (974)
典型隔震结构的非线性分析	夏 昌 (981)
基础滑移隔震技术的研究和应用现状与发展展望	谢文东 史庆轩 孟 亮 (987)
跟踪参考序列的模型参考自适应结构控制	刘栋栋 李瑞瑞 丁卫华 (994)
基于 H_{∞} 静态输出反馈的结构模型 AMD 控制试验研究	张敬微 欧进萍 (1000)
屈曲约束支撑的研究发展与应用综述	陈廷君 翁大根 (1007)

六、生命线工程与特种结构抗震

黏弹性边界结合显式有限元的拱坝地震反应分析方法	杜修力 赵 密 (1017)
LRB 隔震桥梁双向耦合非线性地震反应分析	杜修力 韩 强 刘文光 (1024)
宜宾长江公路大桥斜拉桥地震反应分析及抗震性能评价	李贞贞 李小珍 李 俊等 (1033)

猎德大桥粘滞阻尼器参数分析与试验研究	陈 虎 王君杰 章小檀等 (1042)
猎德大桥振动台试验简介	王君杰 章小檀 王志强等 (1049)
自锚式悬索桥地震反应仿真分析	周 敦 王君杰 袁万城等 (1058)
钢筋混凝土桥墩地震抗剪强度初步研究	王东升 司炳君 艾庆华等 (1068)
桥梁抗震可靠性分析	姜淑珍 王晓东 刘如山 (1075)
高墩梁桥地震响应及减震技术研究	王克海 李 茜 韦 韩 (1079)
三跨曲线刚构桥地震谱响应分析	赵志刚 李青宁 (1084)
震后供水管网的功能分析	符圣聪 江静贝 黄世敏 (1089)
城市地下管道地震破坏机理分析及管道的抗震处理	王绵坤 (1096)
腐蚀管线随机地震反应分析	刘 威 李 杰 (1101)
大型火力发电厂主厂房典型钢筋混凝土框架结构	

静力弹性分析	王学民 方伟定 余智恩等 (1108)
某变电站结构减震控制的仿真分析	杜永峰 李 慧 刘彦辉等 (1117)
基于模拟退火遗传算法的输电铁塔形状优化设计	易少华 刘树堂 (1125)
S7 型油浸式变压器有限元建模与抗震性能分析	孟敏捷 叶志明 陈玲俐 (1133)
基于随机地震动模型的 SW6-220 少油断路器抗震性能分析	
.....	冯 东 叶志明 陈玲俐 (1137)
高压隔离开关抗震性能影响因素分析	吕宝龙 叶志明 陈玲俐 (1142)
带仓顶室筒承式筒仓的水平地震作用分析	王命平 李玉川 (1148)
柱承式钢板筒仓的抗震设计研究	易 凌 姚中生 (1154)
基于性能的烟囱抗震设计	王学民 方伟定 方鸿强等 (1159)
球形储液罐液-固耦联地震反应分析	郑天心 王 伟 肖志刚 (1164)
外浮顶对大型立式储液罐地震反应影响分析	郑天心 王 伟 穆海燕 (1171)
近海储油罐平台的抗震试验和振动控制研究	金 靖 李 昕 周 晶 (1177)
砖石古塔的抗震机制及加固对策研究	卢俊龙 姚谦峰 张 萌 (1184)
吐鲁番苏公塔抗震性能及其他研究节略	尹力峰 唐丽华 赵进军 (1190)

七、抗震试验技术与结构试验研究

伪静力与地震动激励下单层 R/C 模型结构的侧

向抗力-变形特性对比	戴君武 齐霄高 Mai Tong 等 (1201)
欠质量人工质量模型振动台试验相似关系讨论	赵作周 钱稼茹 董惠君 (1208)
模型重力失真对外推原型弹塑性性能的影响	张大照 陈以一 (1217)
结构远程协同试验通讯平台 NetSLab 的开发与应用	郭玉荣 肖 岩 胡 庆 (1223)
村镇木构架土坯围护房屋足尺模型振动台试验研究	葛学礼 朱立新 申世元等 (1231)
调谐质量减振器抗震效果的理论预测模型及试验研究	
.....	尹学军 Nawrotz ki P. 罗 勇 (1239)
框架结构三维弹性支撑隔震的仿真分析及试验研究	尹学军 Nawrotz ki P. 王 建 (1247)
核心型钢混凝土柱抗震性能试验研究	郭子雄 刘 阳 庄 云等 (1254)
橡胶支座水平剪切弹塑性力学性能试验研究	何文福 刘文光 杨彦飞等 (1261)
轻型复合结构恢复力特性研究	李升才 江见鲸 于庆荣 (1267)
防屈曲钢支撑阻尼器的试验及简化计算模型	李 妍 吴 斌 欧进萍 (1274)
新型钢管混凝土梁柱结点的试验研究	陈玉泉 邱 捷 薛玉丽 (1282)
高性能混凝土剪力墙抗震试验与分析	邓明科 梁兴文 刘清山 (1287)

Rocking Failure Of A Multi - Storey Building Model At Transfer

Plate On Shaking Table	L. X. Wang and K. T. Chau (1293)
混凝土 - 石膏板计算模型与实际工程动力测试	姜忻良 许岩 张宇 (1303)
复杂建筑动力特性脉动测试与分析	王宁 阎维明 李振宝等 (1309)
地质雷达探测技术在隧道结构检测中的应用	刘德东 (1316)
结构损伤识别模态曲率方法试验研究	阳洋 王利恒 何浩祥等 (1321)
结构损伤识别模态曲率方法数值分析研究	阳洋 王利恒 王景涛等 (1329)
基于时频重排和时频脊线的非线性系统的识别方法	石志晓 李大望 周晶等 (1336)
多维时间序列模型在结构异常识别中的应用	林友勤 陈志为 任伟新 (1343)
剪切型框架损伤定位的比较研究	李林 朱宏平 王伟 (1349)
基于遗传算法的结构健康监测中压电陶瓷传感器优化布设	王晓滢 阎石 (1357)
基于 ARMA 模型模态参数识别的改进方法研究	郭永刚 许亮华 水小平 (1361)
HHT 法边界问题的处理及其在时变结构动力特性识别中的应用	张永利 李鸿晶 (1367)

八、城市防震减灾及抗震技术标准和规范

印度洋海啸灾害考察与反思	程绍革 尹保江 彭立新等 (1377)
新世纪不能让唐山地震悲剧重演	陈贵平 项连斌 (1382)
城市地震危害与抗震防灾对策研究	范继平 (1387)
城市建设与人员疏散问题探讨	聂树明 (1390)
城市防震减灾能力评价方法研究进展	熊国峰 姚保华 童小华等 (1396)
国内外工程结构抗震设防标准比较	陈素文 李国强 (1402)
关于抗震设防标准的几个问题的讨论	罗奇峰 盛明强 万召佃 (1407)
对设计反应谱长周期段取值规定的建议	耿淑伟 陶夏新 王国新 (1414)
抗震设计规范反应谱阻尼调整系数的频率比修正法	李龙安 何友娣 屈爱平 (1422)
中、美规范等截面钢框架柱计算长度系数 μ 的对比	李俞谔 肖岩 (1431)
建设场地地震影响系数取值及存在的问题	朱国祥 (1439)
对香港高层建筑抗震设计的探讨	陈公亮 (1447)
基于 GIS 的城市公路交通系统震后连通性分析	马春艳 倪永军 黄世敏等 (1454)

超高层连体双塔建筑的方案选择^①

侯家健^{1, 2} 韩小雷² 谭平³ 徐忠根³

(¹广东省建筑设计研究院 广州 510010;

²华南理工大学高层建筑结构研究所 广州 510641;

³广州大学抗震中心 广州 510405)

摘要 本文探讨连体超高层建筑刚性连接与柔性连接两种结构方案。基于计算结果和现有阻尼器技术,指出柔性方案减震效果主要由于释放连体和塔楼之间水平约束,并提出柔性方案设计目前未解决好的关键技术问题是动力弹性分析。综合比较各方案优缺点后,选择了刚性连接方案。

关键词 连体; 阻尼器; 高层建筑; 柔性连接

1 工程概况

本工程位于广东珠三角,地面层数 39 层,高 148m,由平面为切角三角型的对称双塔构成,东、西塔功能分别为酒店和写字楼,在第 36 层到屋面层通过空中连廊连接(图 1)。连廊底部高度 130m,跨度 42m,总高度 16.8m。地震安全性评价表明,设防烈度为 6 度,常遇地震地面加速度为 0.0752g,II 类场地。100 年基本风压为 0.65kN/m²,地面粗糙度 C 类。

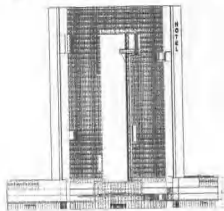


图 1 立面图

① 基金项目: 英联邦结构工程师学会青年研究者基金 (Young Researcher Grant of IStructE)

2 研究现状和工程经验简介

理论分析表明,不对称连体建筑振型很复杂,连体之间的内力与塔楼的刚度、连体高度、连体与塔楼的连接方式有较大关系^[2-4]。连体与塔楼部分交界位置用阻尼器连接可以在双塔连线方向(纵向)减小连体内力^[1]。

国内连体高层建筑的工程实践逐渐增加,部分工程还进行了振动台试验验证。例如:8度区北京的 UHN 双塔对称连体住宅用了刚性连接,由于连体是桁架形式,将两塔的核心筒连接,较好地协调了双塔的地震力分配和变形,振动台试验表明罕遇地震下结构保持裂而不坏^[6]。7度区上海的交银大厦是不对称双塔连体,试验结果表明在罕遇地震下顶部钢结构连廊处出现拉坏^[5]。7度区广州信合广场是强不对称连体双塔结构,进行了刚性和柔性连接的对比试验,试验结果和理论分析一致,柔性连接可以减小连体内力,最后本工程实施的是刚性连接方案^[7]。抗规对强连接提出的设计建议是尽量对称和保障连体以及下部楼层的强度^[1]。

世界上首幢超高层连体建筑——日本大阪市新梅田大厦,采用在 39~40 层处刚性连接,在风荷载作用下,刚性连接的连体结构在纵向位移为非连体结构位移的 46%~53%,倾覆力矩为非连体结构的 57%~65%。在地震作用下,顶部较接时的周期为独立的两栋楼的平均值。刚性连接时的周期比较接时的值小 5%。由此推算,建筑物顶部的拉弯效果相当于增加了 10%的刚度。调查表明,国内外大部分的高层连体结构采用了刚性连接。

3 结构方案选择思路

3.1 设计条件分析

本连体结构有如下特点:

(1) 为弱不对称双塔连体。虽然双塔平面外轮廓相同,但由于建筑功能不同,导致酒店核心筒小,办公楼核心筒大,双塔的纵、横向整体刚度不同;

(2) 连体位置高,跨度大,质量大,但是宽度较为狭窄。由于建筑外轮廓内凹弧线关系,连体最窄处仅 12m,为塔楼宽度 1/3。而且由于距离关系,连体的桁架不可能直接伸入核心筒;

(3) 地震和风荷载都可能是控制荷载。本工程处于 VI 度设防区,但是地面加速度接近 VII 度;风压较大,本建筑高 148m,接近该基本风压起控制作用的建筑物界限高度。

3.2 单塔结构体系选择

观察平面布置(图 2),首先选择框筒体系。试算结果表明,图 2a 中单塔角部 6 片剪力墙由 12 根框架柱代替的布置形成的连廊刚性连接的框筒结构,整体的扭转远超规范限值,原因是本连体结构对扭转敏感。



图 2a 6~34 层结构平面



图 2b 35~39 屋面层结构平面

根据系统动力学的分量模态综合法原理,要提高整体结构抗扭刚度,可以通过增加子结构(单塔)的抗扭刚度达到^[8]。参考国内外深圳亚洲大酒店类似单塔体型的经验,决定在单塔平面

的三角形切角处增加抗侧构件^[9]。结合建筑功能特点和超限审查要求,分析了斜撑、剪力墙两种方式,考虑传力效率和建造成本,最后选用剪力墙,形成钢混框架-筒体-剪力墙杂交体系。

3.3 连体竖向承重结构方式

如前所述,连廊跨度 42m,宽度 12.3~19.3m,共 5 层。竖向承重结构需要有足够的强度和刚度,而且利于施工。可以选用的承重结构有悬挑桁架和两端支承桁架。悬挑桁架跨高比约为 1.5,可以将建筑连体造型简化为两个单塔结构,给设计带来便利。但是双塔的抗震缝约 600mm,给建筑处理带来困难,不被建筑师接受。对两端支承桁架,利用两层层高为桁架高度已经足够,而且利于结合柱距划分节间尺寸(图 3)。该桁架下吊 35 层,上承屋面层,采用全钢结构形式,桁架施工可以作为施工平台,避免 130m 的高空支模。

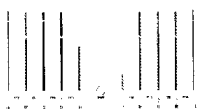


图 3a 刚性连接方案立面

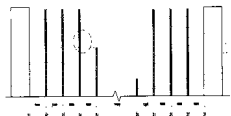


图 3b 柔性连接方案立面

3.4 连廊与塔楼刚性连接

由于本工程连廊宽度约为塔楼宽度的 40%,偏小,而且双塔核心筒距离为 64m,实施核心筒之间的刚性连接很困难。结合建筑物外形平面特点,以及前述作为竖向承重结构的桁架特点,将该桁架沿建筑物外轮廓弧线延伸,在桁架层(36~38 层)的塔楼范围内增加斜腹杆,与外框架构成刚性连接(图 3a)。

3.5 连廊与塔楼柔性连接

图 3b 表示柔性连接方案,图中圆圈表示其中一端设置阻尼器的位置,共 4 个,分布于 36 层连体桁架端部支座与塔楼连接的四角。尽管用阻尼器为柔性连接支座从理论分析和试验都表明可以有效减小连体内力^[7],但将其应用于实际工程仍有一些关键问题需要解决:

(1) 防倒塌准则和位移限值。

为了防止在罕遇地震下连体倒塌跌落,造成次生灾害,阻尼器的极限位移应大于连廊可能出现的与塔楼顶部的最大相对位移。纵向(双塔连线方向)最大相对位移为:

$$D_{x\max} = D_{x1} + D_{x2} \quad (1)$$

式中, D_{x1} 为罕遇地震下双塔顶部沿纵向反向振动最大位移的平均值; D_{x2} 为连廊在罕遇地震相对地面的最大位移。横向最大相对位移为:

$$D_{y\max} = D_{y2} \quad (2)$$

D_{y2} 为连廊在罕遇地震相对地面的最大位移。

所以,阻尼器可能产生最大相对位移为:

$$\bar{D}_{\max} = \bar{D}_{x\max} + \bar{D}_{y\max} \quad (3)$$

从目前的计算分析手段来看, D_{x2} 、 D_{y2} 是可以通过阻尼器的刚度和阻尼比准确计算的,而 D_{x1} 需要动力弹性分析才有可能获得。对包含空间剪力墙的结构,动力弹性分析仍有一定困难。若从安全角度,按照抗规层间位移角限值取值,则 $D_{x1} = 1.5\text{m}$; D_{x2} 、 D_{y2} 根据大震地震力估算,不超过 0.4m,故阻尼器的最大位移限值不超过 1.9m。

(2) 阻尼器和计算参数。

首先考虑抗规推荐的橡胶隔震支座。目前国内可选隔震支座最大的直径为 1.1m,厚度 0.5m,

极限位移约 $1\text{m}^{[11]}$ 。

其次考虑摩擦重力摆支座 (Friction Pendulum Bearings FPB), ^[12, 13]FPB 支座具有自复位, 与位移相关的特点。其恢复力模型为:

$$F = \mu W + \left[\frac{W}{R} \right] D \quad (4)$$

式中, W 为竖向荷载; R 为支座曲率半径; D 为设计位移; μ 为动摩擦系数。

(3) 初始刚度和阻尼比的设防标准设定。

根据刚性连接计算结果, 连体部分三个水准地震力和两种重现期风荷载按照大小出现的顺序如图 4。为了保证在小震和风荷载作用下连体保持一定刚度, 不发生过大位移而影响使用, 设阻尼器在连体横向受到 50 年重现期的风载时才开始发生变形。

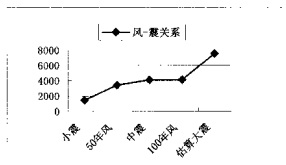


图 4 连体部分风-地震关系

4 方案计算结果和分析

4.1 计算参数

比较方案的阻尼器计算参数如表 1, 计算工况包括小震下反应谱分析、时程分析。

表 1 用于 ETABS 计算参数选择

方案编号	等效水平刚度/ (kN/mm)	竖向刚度/ (kN/mm)	阻尼器的阻尼比	阻尼器
Wek1	2.09	5270	0.05	隔振垫
Wek2	2.414	5270	0.21	FPB
Wek3	3.324	5270	0.153	FPB
Rig				刚性连接

4.2 总体指标

各个方案自振周期分布较为吻合 (图 5), 各振型质量参与系数类总值的分布也相当一致。以 y 向为例, 四个计算方案均以第 2 和第 8 振型累计有效参与质量百分比就达到 83% (图 6), 而且四种计算方案的第 2 振型均沿 y 向一次振动, 第 8 振型均是沿 y 向二次振动。所以, 刚性连接与柔性连接的总体动力性能差异不大。

4.3 连体部分

对比桁架各层弦杆和斜腹杆反应谱分析工况得到的轴力, 可见柔性连接有效降低地震中连体的轴力, 且不同阻尼器特性对杆件轴力影响很小 (表 2)。

为了考察柔性连接方案连体和塔楼的相对位移, 取 37 层塔楼和连体相邻两点的位移为纵、横

坐标, 绘出在 El-centro 波小震时程分析作用下的位移关系。曲线在第 I、III 象限时, 两点同向运动, 当曲线在第 II、IV 象限时, 两点反向运动。分析表明, 连体和塔楼基本为同向运动, 反向运动的位移值小于 20mm (图 7)。

表 2 连体桁架各层弦杆和斜腹杆轴力 (单位: kN)

	rig	wek1	wek2	wek3
36 层弦杆	494	475	474	473
37 层弦杆	128	44	44	56
38 层弦杆	652	54	57	54
斜腹杆	845	179	179	179

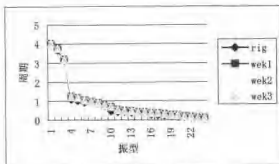


图 5 各方案自振周期分布

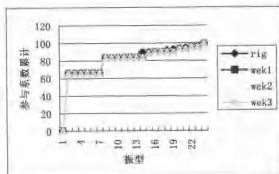


图 6 方案 Y 向振型质量参与系数总值

从计算总体指标和连体内力得到启示: 本工程双塔刚度相似情况下, 小震作用时, 柔性连接可以释放连体对塔楼的约束, 降低连体的地震反应。而且减震的作用主要是由于约束的释放, 至于阻尼器的阻尼比和水平刚度, 对计算结果的影响较小。

4.4 未解决的计算问题

对于柔性连接方案结构从中震至大震的位移, 由于目前动力弹塑性程序功能的限制, 仍无法准确计算, 今后需要结合振动台试验和数值分析一起研究。

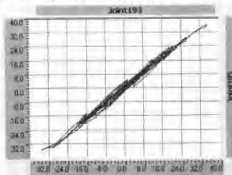


图 7a wek2 连体-塔楼相邻两点纵向位移关系

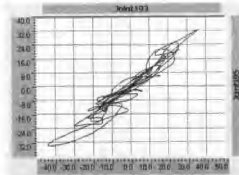


图 7b wek2 连体-塔楼相邻两点横向位移关系

5 结论

(1) 柔性连接方案可以释放塔楼对连体部分的约束, 减小连体内力。对于单塔刚度较大的结构是合适的;

(2) 刚性连接方案具有构造简单, 容易实施的优点, 但需要仔细调整塔楼的刚度比值, 减少不对称导致的复杂受力;

(3) 罕遇地震下连体部分的位移仍然是分析难点, 也是柔性连接关键技术;

(4) 经综合考虑, 本工程最后选择刚性方案。

感谢容柏生院士、周福霖院士、刘玉树总工、陈星总工、罗赤宇所总工在方案阶段对本工程的指导和帮助, 感谢黄翠坤总工和肖从真博士提供的参考资料。

参 考 文 献

- [1] 建筑抗震设计规范 (GB50011-2001)
- [2] 黄坤耀、孙炳楠、楼文娟. 连体刚度对双塔连体高层建筑地震响应的影响. 建筑结构学报, 2001
- [3] 沈沁. 联体多结构振动控制体系的地震随机振动分析. 建筑结构, 2001
- [4] 吴耀辉. 大底盘双塔楼连体高层建筑的抗震与减振分析. 东南大学博士论文
- [5] 吕西林等. 复杂体型高层建筑抗震试验和计算分析. 高层建筑抗震技术交流会论文集. 1999: 73~80
- [6] 徐培福等. 复杂高层建筑设计. 中国建筑工业出版社, 2005: 314~357
- [7] 周福霖, 陈伟军等. 信合大厦连廊柔性节点设计及试验研究 (待出版)
- [8] Roy.R, Craig, Jr. 结构动力学. 人民交通出版社, 1996: 354~376
- [9] 陈祥福等. 中国高层建筑设计精粹. 海南出版社, 1998: 238~246
- [10] 周福霖. 工程结构减震控制. 地震出版社, 1997
- [11] 程懋坤等. 高层建筑结构构造资料集. 中国建筑工业出版社: 424~427
- [12] Http: //www.earthquakeprotection.com
- [13] Anil K. Chopra, Dynamic of Structure-Theory and application to Earthquake Engineering: 731~754

地下室顶板有高差的高层建筑抗震措施研究

韩 军¹ 李英民¹ 蔡辉腾¹ 吴海胜²

(¹重庆大学土木工程学院 重庆 400045;

²武汉和创建筑工程设计事务所 湖北武汉 430071)

摘要 现代高层建筑一般带有较大面积的地下室,而主楼范围以外的地下室顶板标高因室外绿化等需求常低于主楼范围地下室顶板,地震时侧向土加上地下室顶板的水平力传到交接处的框架柱,使其形成错层节点和短柱,易产生破坏。结构抗震设计时应尽量采取措施避免或减小此处的地震作用。为此,本文提出一种抗震处理措施,即将交接处相邻两跨或主楼外一跨的地下室顶梁板做成斜向梁板,将水平地震作用传向主楼楼层内。为验证此措施的有效性,本文采用有限元软件 ANSYS 对采用处理措施前后的模型进行地震反应分析,通过对比得出本文采用的处理措施可有效地避免结构出现抗震薄弱部位,可供工程设计参考。

关键词 抗震设计;地下室;错层;ANSYS;土-结构相互作用;高层建筑

1 引言

现代高层建筑一般因带有较大面积的地下车库以及抗倾覆的要求,需设置地下室。而主楼范围以外的地下室顶板标高因室外绿化的需求常低于主楼范围地下室顶板[图 1(a)],地震时侧向土加上地下室顶板的水平力传到交接处的框架柱,使其形成错层节点和短柱,且比一般楼层的错层节点更严重,易产生短柱剪切脆性破坏,属抗震薄弱部位。为避免地震时此重要部位的破坏,结构抗震设计时应尽量采取措施避免或减小此处的地震作用。

本文提出一种抗震处理措施,即将交接处相邻两跨的地下室顶梁板做成斜向梁板,将水平地震作用部分传向主楼第二跨内[图 1(b)];或将主楼范围以外一跨的地下室顶梁板做成斜向梁板,将水平地震作用传向主楼地下室顶[图 1(c)]。为验证所采取措施的有效性,本文采用有限元软件 ANSYS 对采用处理措施前后的模型进行地震反应分析,通过对比分析得出,本文采用的处理措施可有效地避免结构出现抗震薄弱部位,提高结构的抗震安全性,可供工程设计参考。

2 计算模型及参数确定

本文采用 ANSYS 进行上述三种模型的动力响应分析。为简化分析,假定结构为线性,且仅考虑二维平面模型。上部结构、地下室的梁柱离散成 2D 梁元 BEAM3,岩石和土体离散成平面应变元 PLANE42。用 ANSYS 进行地震反应动力时程分析首先需解决如下几个问题^[1]。

2.1 地震动激励的施加

用 ANSYS 进行地震响应时程分析时,对结构施加地震作用的方法有三种,即输入加速度时

程法、输入位移时程法和大量法。作者曾做过对比分析得到三种输入方法的计算结果非常接近^[1]。输入加速度时程法是用 ACEL 命令指定结构的加速度历程,在加速度方向约束地基节点,使用方便,故本文选用输入加速度时程法。

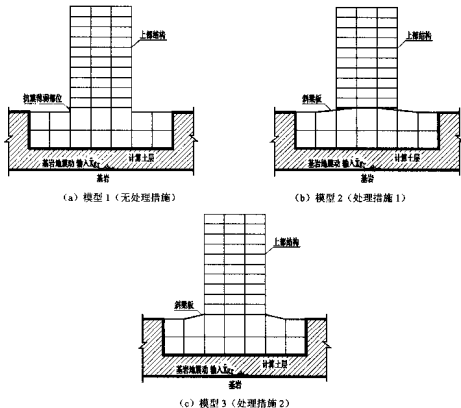


图1 对比分析几何计算模型示意图

2.2 积分步长

动力分析时,积分步长会影响到解的稳定性和精度。ANSYS 采用 Newmark- β 法进行数值积分,该方法的稳定性已得到证明。本文分析中积分步长主要考虑求解精度来确定。据文献[1]综合考虑,取积分步长为 0.004s。

2.3 阻尼

由于结构所受载荷与时间相关,必须考虑阻尼作用。ANSYS 提供五种形式的阻尼: Alpha 和 Beta 阻尼 (Rayleigh 阻尼)、和材料相关的阻尼、恒定的阻尼比、振型阻尼和单元阻尼^[2]。恒定的阻尼比和振型阻尼只适用于模态叠加法瞬态动力分析,单元阻尼主要用于一些弹簧阻尼单元如 COMBIN14、COMBIN37 等,其余两种阻尼适用于完全法瞬态动力分析,本文选用较为常用的 Rayleigh 阻尼。按常规,取钢筋混凝土框架结构阻尼比和线性土体阻尼比均为 0.05。

2.4 边界处理

本文计算模型都牵涉到土-结构相互作用,其整体有限元模型只可能包含有限的地基范围,为了模拟地基的半无限域,需对地基的侧向边界和底部边界进行处理。目前常用的人工边界有远置边界(自由边界)、Lysmer 最早提出的粘性边界、一致边界、Smith 提出的叠加边界、Clayton 等提出的旁轴边界以及廖振鹏等提出的透射边界、双渐近多向透射边界等^[3]。ANSYS 最容易实现的人工边界是远置边界。据文献[1]本文计算时侧向远置边界计算宽度取为 1000m,误差是可以接受的。

波在固定边界上将完全反射,由于假设计算区域下假定为刚度很大的岩石,波传到岩石交界面上将以反射为主,加上土的阻尼作用,结构振动传下来的波到达基岩面再反射回结构时对结构