



同济大学 1907-2017
Tongji University



同济博士论丛
TONGJI Dissertation Series

总主编 伍江 副总主编 雷星晖

谢壮宁 顾明 著

典型群体超高层建筑 风致干扰效应研究

Wind-induced Interference Effects on
Typical Tall Buildings



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS



总主编 伍江 副总主编 雷星晖

谢壮宁 顾明 著

典型群体超高层建筑 风致干扰效应研究

Wind-induced Interference Effects on
Typical Tall Buildings



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

内 容 提 要

本书采用高频底座天平测力技术和电子扫描测压技术,详细研究了在不同地貌下不同宽度比和高度比的两个超高层建筑在不同间距下的干扰效应;进一步系统研究了三个超高层建筑间的静力、动力干扰效应和结构典型位置处的风压系数在受扰后的变化规律;最后总结并提出了两个和三个超高层建筑间干扰效应的一系列实用条款,供规范修订、补充时参考。

本书适合土木工程及其相关专业人员阅读参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

典型群体超高层建筑风致干扰效应研究 / 谢壮宁, 顾明著. —上海: 同济大学出版社, 2018. 10

(同济博士论丛 / 伍江总主编)

ISBN 978-7-5608-6981-0

I. ①典… II. ①谢… ②顾… III. ①超高层建筑—风致振动—研究 IV. ①TU973.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 093521 号

典型群体超高层建筑风致干扰效应研究

谢壮宁 顾 明 著

出 品 人 华春荣 责任编辑 葛永霞 卢元姗

责任校对 谢卫奋 封面设计 陈益平

出版发行 同济大学出版社 www.tongjipress.com.cn

(地址: 上海市四平路 1239 号 邮编: 200092 电话: 021-65985622)

经 销 全国各地新华书店

排版制作 南京展望文化发展有限公司

印 刷 浙江广育爱多印务有限公司

开 本 787 mm×1092 mm 1/16

印 张 18.5

字 数 370000

版 次 2018 年 10 月第 1 版 2018 年 10 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5608-6981-0

定 价 86.00 元

本书若有印装质量问题, 请向本社发行部调换 版权所有 侵权必究

“同济博士论丛”编写领导小组

组 长：杨贤金 钟志华

副 组 长：伍 江 江 波

成 员：方守恩 蔡达峰 马锦明 姜富明 吴志强
徐建平 吕培明 顾祥林 雷星晖

办公室成员：李 兰 华春荣 段存广 姚建中

“同济博士论丛”编辑委员会

总 主 编：伍 江

副 总 主 编：雷星晖

编委会委员：（按姓氏笔画顺序排列）

丁晓强	万 钢	马卫民	马在田	马秋武	马建新
王 磊	王占山	王华忠	王国建	王洪伟	王雪峰
尤建新	甘礼华	左曙光	石来德	卢永毅	田 阳
白云霞	冯 俊	吕西林	朱合华	朱经浩	任 杰
任 浩	刘 春	刘玉擎	刘滨谊	闫 冰	关侗红
江景波	孙立军	孙继涛	严国泰	严海东	苏 强
李 杰	李 斌	李风亭	李光耀	李宏强	李国正
李国强	李前裕	李振宇	李爱平	李理光	李新贵
李德华	杨 敏	杨东援	杨守业	杨晓光	肖汝诚
吴广明	吴长福	吴庆生	吴志强	吴承照	何品晶
何敏娟	何清华	汪世龙	汪光焘	沈明荣	宋小冬
张 旭	张亚雷	张庆贺	陈 鸿	陈小鸿	陈义汉
陈飞翔	陈以一	陈世鸣	陈艾荣	陈伟忠	陈志华
邵嘉裕	苗夺谦	林建平	周 苏	周 琪	郑军华
郑时龄	赵 民	赵由才	荆志成	钟再敏	施 骞
施卫星	施建刚	施惠生	祝 建	姚 熹	姚连璧

袁万城	莫天伟	夏四清	顾 明	顾祥林	钱梦騄
徐 政	徐 鉴	徐立鸿	徐亚伟	凌建明	高乃云
郭忠印	唐子来	閻耀保	黄一如	黄宏伟	黄茂松
戚正武	彭正龙	葛耀君	董德存	蒋昌俊	韩传峰
童小华	曾国荪	楼梦麟	路秉杰	蔡永洁	蔡克峰
薛 雷	霍佳震				

秘书组成员：谢永生 赵泽毓 熊磊丽 胡晗欣 卢元姍 蒋卓文

总序

在同济大学 110 周年华诞之际,喜闻“同济博士论丛”将正式出版发行,倍感欣慰。记得在 100 周年校庆时,我曾以《百年同济,大学对社会的承诺》为题作了演讲,如今看到付梓的“同济博士论丛”,我想这就是大学对社会承诺的一种体现。这 110 部学术著作不仅包含了同济大学近 10 年 100 多位优秀博士研究生的学术科研成果,也展现了同济大学围绕国家战略开展学科建设、发展自我特色,向建设世界一流大学的目标迈出的坚实步伐。

坐落于东海之滨的同济大学,历经 110 年历史风云,承古续今、汇聚东西,秉持“与祖国同行、以科教济世”的理念,发扬自强不息、追求卓越的精神,在复兴中华的征程中同舟共济、砥砺前行,谱写了一幅幅辉煌壮美的篇章。创校至今,同济大学培养了数十万工作在祖国各条战线上的人才,包括人们常提到的贝时璋、李国豪、裘法祖、吴孟超等一批著名教授。正是这些专家学者培养了一代又一代的博士研究生,薪火相传,将同济大学的科学研究和学科建设一步步推向高峰。

大学有其社会责任,她的社会责任就是融入国家的创新体系之中,成为国家创新战略的实践者。党的十八大以来,以习近平同志为核心的党中央高度重视科技创新,对实施创新驱动发展战略作出一系列重大决策部署。党的十八届五中全会把创新发展作为五大发展理念之首,强调创新是引领发展的第一动力,要求充分发挥科技创新在全面创新中的引领作用。要把创新驱动发展作为国家的优先战略,以科技创新为核心带动全面创新,以体制机制改

革激发创新活力,以高效率的创新体系支撑高水平的创新型国家建设。作为人才培养和科技创新的重要平台,大学是国家创新体系的重要组成部分。同济大学理当围绕国家战略目标的实现,作出更大的贡献。

大学的根本任务是培养人才,同济大学走出了一条特色鲜明的道路。无论是本科教育、研究生教育,还是这些年摸索总结出的导师制、人才培养特区,“卓越人才培养”的做法取得了很好的成绩。聚焦创新驱动转型发展战略,同济大学推进科研管理体系改革和重大科研基地平台建设。以贯穿人才培养全过程的一流创新创业教育助力创新驱动发展战略,实现创新创业教育的全覆盖,培养具有一流创新力、组织力和行动力的卓越人才。“同济博士论丛”的出版不仅是对同济大学人才培养成果的集中展示,更将进一步推动同济大学围绕国家战略开展学科建设、发展自我特色、明确大学定位、培养创新人才。

面对新形势、新任务、新挑战,我们必须增强忧患意识,扎根中国大地,朝着建设世界一流大学的目标,深化改革,勠力前行!

万 钢

2017年5月

论丛前言

承古续今,汇聚东西,百年同济秉持“与祖国同行、以科教济世”的理念,注重人才培养、科学研究、社会服务、文化传承创新和国际合作交流,自强不息,追求卓越。特别是近20年来,同济大学坚持把论文写在祖国的大地上,各学科都培养了一大批博士优秀人才,发表了数以千计的学术研究论文。这些论文不但反映了同济大学培养人才能力和学术研究的水平,而且也促进了学科的发展和国家的建设。多年来,我一直希望能有机会将我们同济大学的优秀博士论文集中整理,分类出版,让更多的读者获得分享。值此同济大学110周年校庆之际,在学校的支持下,“同济博士论丛”得以顺利出版。

“同济博士论丛”的出版组织工作启动于2016年9月,计划在同济大学110周年校庆之际出版110部同济大学的优秀博士论文。我们在数千篇博士论文中,聚焦于2005—2016年十多年间的优秀博士学位论文430余篇,经各院系征询,导师和博士积极响应并同意,遴选出近170篇,涵盖了同济的大部分学科:土木工程、城乡规划学(含建筑、风景园林)、海洋科学、交通运输工程、车辆工程、环境科学与工程、数学、材料工程、测绘科学与工程、机械工程、计算机科学与技术、医学、工程管理、哲学等。作为“同济博士论丛”出版工程的开端,在校庆之际首批集中出版110余部,其余也将陆续出版。

博士学位论文是反映博士研究生培养质量的重要方面。同济大学一直将立德树人作为根本任务,把培养高素质人才摆在首位,认真探索全面提高博士研究生质量的有效途径和机制。因此,“同济博士论丛”的出版集中展示同济大

学博士研究生培养与科研成果,体现对同济大学学术文化的传承。

“同济博士论丛”作为重要的科研文献资源,系统、全面、具体地反映了同济大学各学科专业前沿领域的科研成果和发展状况。它的出版是扩大传播同济科研成果和学术影响力的重要途径。博士论文的研究对象中不少是“国家自然科学基金”等科研基金资助的项目,具有明确的创新性和学术性,具有极高的学术价值,对我国的经济、文化、社会发展具有一定的理论和实践指导意义。

“同济博士论丛”的出版,将会调动同济广大科研人员的积极性,促进多学科学术交流、加速人才的发掘和人才的成长,有助于提高同济在国内外的竞争力,为实现同济大学扎根中国大地,建设世界一流大学的目标愿景做好基础性工作。

虽然同济已经发展成为一所特色鲜明、具有国际影响力的综合性、研究型大学,但与世界一流大学之间仍然存在着一定差距。“同济博士论丛”所反映的学术水平需要不断提高,同时在很短的时间内编辑出版 110 余部著作,必然存在一些不足之处,恳请广大学者,特别是有关专家提出批评,为提高同济人才培养质量和同济的学科建设提供宝贵意见。

最后感谢研究生院、出版社以及各院系的协作与支持。希望“同济博士论丛”能持续出版,并借助新媒体以电子书、知识库等多种方式呈现,以期成为展现同济学术成果、服务社会的一个可持续的出版品牌。为继续扎根中国大地,培育卓越英才,建设世界一流大学服务。

伍 江

2017 年 5 月

前言

群体超高层建筑风致干扰效应的研究具有很重要的理论和实用价值。目前大部分研究均集中在两个超高层建筑间的干扰效应上,国内外罕有三个建筑物间干扰效应的研究报道。即使有对两个建筑间的相互干扰的研究,因试验量巨大和海量结果,已有研究多采用定性的方法,分析比较不同参数(如施扰建筑的宽度、高度、地貌类型和建筑间相对位置等)对于干扰因子(IF , 定义为建筑受扰后的静力荷载或响应和其在孤立时的相应值之比)分布的影响,导致不同参数影响的潜在规律难以得到很好的定量总结,研究结果也难以被建筑荷载规范所采纳。同时,不断进行的试验所得到数据的堆积及多变量使这一问题变得更加复杂而难以表述。

本书采用高频底座天平测力技术和电子扫描阀测压技术,提出数据分析和结果表述新方法,更为详细地研究了在不同地貌下不同宽度比和高度比的两个建筑在不同间距下的干扰效应;进一步系统研究了三个超高层建筑间的静力、动力干扰效应和结构典型位置处的风压系数在受扰后的变化规律;最后总结并提出了两个和三个超高层建筑间干扰效应的一系列实用条款,供规范修订、补充时参考。整个试验(不包括前期的准备工作),历时6个月,导致总共测试分析了7518种工况,共采集了12GB的试验数据。这是迄今为止国际上相关研究中最大规模的试验,所获得的试验数据也最为丰富。

全书主要包括以下内容:

首先,在测试方法上,针对脉动测压中存在的信号畸变问题,利用流体管

道耗散模型,建立可用于计算复杂传压管路动态特性的方法和通用计算程序,并用于脉动风压测量的畸变信号的修正。书中对传压管路的优化设计问题也进行了一些建设性的讨论。对于采用高频底座天平进行动态力测试,书中对天平模型系统动态响应所引起的测量误差进行了定量分析和修正。采用这些措施后,在测试中可以拓宽被测信号频谱的有效带宽,使得在风洞试验时可以适当提高试验风速,以提高信噪比,从而提高测量的精度。

在试验实施上,设计了一套可大大提高试验效率的施扰模型移动轨道系统。此外,针对研究所遇到大量试验工况和需处理的海量实验数据问题,开发了一个集成神经网络建模、统计分析、谱分析、相关分析和进行测压管路动态信号畸变修正等功能的专用程序,数据库技术也被用于对试验分析结果的存储和管理。

在进行试验研究时,首先,对两个正方形截面建筑间的干扰特性和国际上已有的一些结果作了对比试验,以确保本书研究结果的可靠性。在此基础上,对两个和三个建筑物间的相互干扰特性进行了系统研究。本书首次采用相关和回归方法对 IF 分布进行分析,提出了有效的定量表示方法来描述三个建筑间干扰效应的分布,解决了三个建筑间干扰效应 IF 分布难以表示的难点,得到了一系列反映两个和三个群体超高层建筑间风致干扰特性的新结论。得到的若干定量结果便于为规范修改时所采用。

由于问题的复杂性,书中有关干扰效应研究结果的讨论和分析分为顺风向静力、顺风向动力、横风向动力以及结构表面极值风压的干扰效应等几个主要部分进行。

对于静力顺风向倾覆弯矩的影响而言,衡量结构受扰程度的 IF 值基本都小于 1,呈现遮挡效应。而且,总的说来,更多的施扰建筑的遮挡效应也越显著。书中也强调狭管效应,当受扰建筑和施扰建筑并列布置时,由于狭管效应会产生较为显著的静力放大作用,某些配置下的 IF 值可高达 1.20。静态狭管效应应引起足够的关注。

对于动力干扰效应的分析则显示上游建筑的尾流将引起受扰结构顺风向和横风向动力响应增大。当受扰建筑位于上游施扰建筑的尾流边界时,会产生较大的动力荷载和响应,并且,两个施扰建筑的干扰作用比一个施扰建筑的干扰作用更强。研究表明,在B类地貌下,在两个施扰建筑的联合作用下,受扰建筑在典型折算风速时的动力干扰因子比单个施扰建筑的高出80%以上。在分析尾流涡激共振响应特性的基础上,总结出不同结构之间尾流涡激共振的临界折算风速的变化规律。

对于受扰建筑结构表面典型位置风压的分析显示,B类地貌下单个上游建筑的影响所产生的 IF 值高达1.9,相应两个施扰建筑的联合作用结果所产生的 IF 值则高达2.2。应引起足够的关注。

本书首次采用相关分析方法对不同高度比、宽度比配置和不同地貌下的干扰因子分布进行了分析,并由回归得到若干描述不同影响参数间 IF 分布关系的定量结果。此项工作突破了长期以来该领域研究在分析不同参数影响时多采用定性而非定量分析方法的局面,它大大简化了群体超高层建筑干扰研究结果描述的繁杂性,使得受扰建筑结构的风荷载取值变得简洁和合理,为本书研究结果的应用推广创造了条件。

本书的系统性研究也澄清了已有文献中提出的一些片面和错误的结论。全书最后总结并提出了两个和三个建筑间干扰效应的一系列条款,供规范修订、补充时参考。

目 录

总序

论丛前言

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 研究现状	1
1.1.1 干扰问题的产生及历史回顾	1
1.1.2 基本干扰机理	3
1.1.3 干扰影响因素	5
1.2 已有的相关规范条文	11
1.2.1 ECCS 规范中的有关内容	11
1.2.2 澳大利亚规范中的有关内容	12
1.2.3 ENV 规范中的有关内容	13
1.2.4 美国 ASCE 规范的规定	14
1.2.5 我国“建筑结构荷载规范”的规定	14
1.3 已有工作存在的主要不足	15
1.4 本书的工作	17
第 2 章 相关的风洞实验技术与试验工况	20
2.1 主要实验设备	20
2.1.1 风洞	20
2.1.2 主要测试设备	20
2.2 风洞试验模拟技术	22

2.2.1	边界层流场特性	22
2.2.2	流场模拟结果	25
2.2.3	相关的模型试验技术	27
2.2.4	CAARC 标模试验	28
2.3	试验工况	30
2.4	本章小结	35
第3章	常规风洞动态测试分析的信号畸变分析及修正方法	36
3.1	概述	36
3.2	瞬态脉动风压测试	37
3.2.1	基本理论及其试验验证	37
3.2.2	动态气动平均原理	42
3.2.3	测压管路脉动风压信号畸变的通用修正算法	43
3.2.4	测压管路系统的优化设计分析	47
3.3	模态力测试	52
3.3.1	高频底座测力天平基本原理	52
3.3.2	广义力测试的误差分析	54
3.3.3	应用	57
3.4	本章小结	60
第4章	群体高层建筑风致干扰试验分析软件	61
4.1	概述	61
4.2	软件功能	61
4.2.1	基本编程策略和流程	61
4.2.2	基本界面和功能简介	63
4.3	基于人工神经网络方法的试验数据精细化处理	67
4.3.1	研究意义	68
4.3.2	基于径向基函数的神经网络	69
4.3.3	数据的精细化分析	70
4.4	动画处理和分析	72
4.5	其他处理分析方法	73
4.5.1	回归分析	73
4.5.2	映射分析	74

4.6 本章小结	75
第5章 静力干扰效应	77
5.1 基本配置的结果与分析	78
5.1.1 双建筑试验结果	78
5.1.2 三建筑试验结果分析	82
5.2 施扰建筑宽度的影响	88
5.2.1 双建筑情况	89
5.2.2 三建筑情况	94
5.3 施扰建筑高度的影响	96
5.3.1 双建筑情况	96
5.3.2 三建筑配置情况	100
5.4 群体建筑干扰因子的折减等值分布	102
5.5 典型测点平均风压分布特性	104
5.5.1 双建筑情况	104
5.5.2 三建筑情况	110
5.6 本章小结	115
第6章 顺风向动力干扰效应	117
6.1 基本配置的结果与分析	118
6.1.1 和现有结果的比较以及双建筑配置的结果	118
6.1.2 三建筑配置	123
6.1.3 基本配置干扰因子的包络分析	130
6.2 施扰建筑宽度的影响	132
6.2.1 双建筑配置	133
6.2.2 三建筑配置	140
6.3 施扰建筑高度的影响	154
6.3.1 双建筑配置	154
6.3.2 三建筑配置	157
6.4 移动网格步长的影响	160
6.5 关于折算风速的选取范围	162
6.6 本章小结	163