

中国工程科技论坛

防震减灾新技术

● 中国工程院

高等教育出版社

中国工程科技论坛

防震减灾新技术

Fangzhen Jianzai Xinjishu

高等教育出版社·北京

内容提要

本书是中国工程院“中国工程科技论坛”系列丛书之一。防震减灾技术的应用和推广是构建和谐社会的重要基础与时代要求,也是社会文明进步的体现。由中国工程院、中国土木工程学会和广州市人民政府共同主办的“第199场中国工程科技论坛暨第八届全国防震减灾工程学术研讨会”于2014年12月18~20日在广州召开。论坛的主题为“防震减灾新技术与新发展”,研讨内容主要包括:震害调查、分析与经验总结,震后结构性能评估与加固改造,地震地面运动与场地影响,结构地震反应分析及抗震设计与试验方法,结构减震控制,结构抗灾性能与发展方向,建筑结构、桥梁结构、隧道结构、高耸结构、水工建筑结构和核电厂结构等新型抗震结构与体系,山地建筑工程抗震与防灾对策,岩土地震工程与地下工程抗震防灾,土动力学与岩土地震工程,高新技术在工程防震减灾中的应用,地震应急救援与恢复重建,城市与村镇综合防震与减灾。本次论坛对目前防震减灾领域面临的关键问题和挑战开展了深入交流和广泛讨论,论坛所形成的研究成果将为减轻世界地震灾害损失做出应有的贡献。

本书可供土木建筑、水利工程、海洋工程、工程力学等有关技术人员参考,也可作为相关专业本科生和研究生的学习用书。

图书在版编目(CIP)数据

防震减灾新技术 / 中国工程院编著. -- 北京:高等教育出版社, 2016.4

(中国工程科技论坛)

ISBN 978-7-04-044997-6

I. ①防… II. ①中… III. ①防震减灾-研究
IV. ①P315.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 041625 号

总 策 划 樊代明

策划编辑 王国祥 黄慧靖

责任编辑 黄慧靖 张 冉

封面设计 顾 斌

责任印制 耿 轩

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120
印 刷 大厂益利印刷有限公司

咨询电话 400-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landraco.com>
<http://www.landraco.com.cn>

开 本 787mm×1092mm 1/16
印 张 16.25
字 数 290千字
购书热线 010-58581118

版 次 2016年4月第1版
印 次 2016年4月第1次印刷
定 价 60.00元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换
版权所有 侵权必究
物 料 号 44997-00

编辑委员会

主任委员：周福霖

委 员：王景全 欧进萍 江欢成 吕西林

陈政清 徐 建 李宏男 曹万林

吴智深 李 惠 刘汉龙 李爱群

唐海英 周 云 谭 平 李 丹

编辑人员：罗学海 吴 迪 罗俊杰

目 录

第一部分 综述

综述	3
----------	---

第二部分 主题报告与报告人简介

Progress and Application on Seismic Isolation, Energy Dissipation and Control in Civil and Industrial Structures and Design Codes in China	Fulin Zhou, et al.	11
群体高层建筑天空城市的构想	江欢成	24
三元被动减振理论与它的一种实现方式——电涡流轴向阻尼器 ...	陈政清	40
结构工程振动控制与标准体系	徐 建	50
低成本村镇建筑抗震节能结构体系研究与应用	曹万林 等	73
结构区域分布传感与健康监测技术及理论体系	吴智深 等	99
高层超高层建筑结构设计新方法——调平法	傅学怡 等	158
结构减振技术的研究与实践	李爱群 等	173
某钢筋混凝土建筑的地震损伤、修复加固和结构监测	薛松涛 等	222
钢-聚丙烯混杂纤维混凝土柱抗震承载力试验研究	徐礼华 等	232
附录 主要参会人员名单		250
后记		251

第一部分

综 述

综 述

一、论坛背景

近年来,世界上地震灾害频发,地震灾害使国家财产和民众生命受到了毁灭性的创伤。我国是世界上自然灾害类型多、发生频繁、灾害损失较为严重的国家之一。在过去的 40 年间,每年灾害经济损失约占同年国家财政总收入的 $1/6 \sim 1/4$ 。进入 20 世纪 90 年代以来,灾害直接经济损失每年约 1000 亿元,个别年份甚至达数千亿元,而且受灾人口伤亡也相当严重,成为影响我国经济发展和社会稳定的重要因素,严重制约着社会的可持续发展。我国的主要灾害种类有地震、地质灾害、风灾、洪灾、火灾、雷电等,地震灾害尤为严重。地震造成的直接灾害和次生灾害带来了巨大的损失。我国防震减灾的任务相当艰巨。继 2008 年汶川地震之后,2011 年 4 月 14 日青海省玉树县发生 7.1 级地震,2013 年 4 月 20 日四川省雅安市芦山县发生 7.0 级地震,2014 年 8 月 3 日云南省鲁甸县又发生 6.5 级地震,同年 11 月 22 日四川省康定县发生 6.3 级地震,震害损失历历在目。如何实现全国防震减灾工程快速发展,是当前迫切需要研究与探讨的一个重要问题。这次中国工程科技论坛与全国防震减灾工程学术研讨会结合进行,突出了防震减灾新技术与新发展的主题,有许多院士、专家莅会报告和交流,将有利于我国防震减灾工程科学技术的发展和推广应用。

二、论坛整体情况

“第 199 场中国工程科技论坛暨第八届全国防震减灾工程学术研讨会”于 2014 年 12 月 18~20 日在广东省广州市东山宾馆举行。本次会议由中国工程院主办,中国土木工程学会、中国工程院土木水利与建筑工程学部、中国土木工程学会防震减灾工程技术推广委员会、广州大学减震控制与结构安全国家重点实验室(培育基地)共同承办,广东省土木建筑学会、广州市科学技术协会、中国工程院院士广州咨询活动中心、广东省地震局、广州军区空军工程建设局、中国地震局地震监测和减灾技术重点实验室、广东工业大学、广州市地震局共同协办。

本次大会内容涉及工程防震减灾的方方面面,覆盖面广。参会的代表来自全国各地的高校、科研单位,以及设计单位和生产企业。5 位院士和 19 位专家在论坛上做了主题报告,部分报告在本书中发表。第八届全国防震减灾工程学

术研讨会共收到论文逾 290 篇,收录论文共 139 篇,其中 6 篇发表在《土木工程学报》(正刊),106 篇发表在《土木工程学报》(增刊),27 篇在会议论文集中发表。

本次会议主题为“防震减灾的新技术与新发展”。研讨内容包括:震害调查、分析与经验总结,震后结构性能评估与加固改造,地震地面运动与场地影响,结构地震反应分析及抗震设计与试验方法,结构减震控制,结构抗灾性能与发展方向,建筑结构、桥梁结构、隧道结构、高耸结构、水工建筑结构和核电厂结构等新型抗震结构与体系,山地建筑工程抗震与防灾对策,岩土地震工程与地下工程抗震防灾,土动力学与岩土地震工程,高新技术在工程防震减灾中的应用,地震应急救援与恢复重建,城市与村镇综合防震与减灾。专家们通过论坛为加速我国防震减灾工程发展出谋献策。

论坛开幕式由广州大学工程抗震研究中心副主任谭平研究员主持,中国工程院副院长徐德龙院士、广州市副市长王东、中国土木工程学会副理事长刘士杰、广州大学校长邹采荣、广州大学工程抗震研究中心周福霖院士等领导和专家分别代表主办单位、地方政府、学会、承办单位以及会议学术委员会出席了开幕式并致辞表示祝贺。周福霖、王景全、江欢成、聂建国、谢礼立、王梦恕、杜彦良、欧进萍等 9 位院士及 400 多位专家学者参加了本次会议,其中周福霖、王景全、欧进萍、江欢成、聂建国等 5 位院士和 19 位专家在大会上做了主题报告。

会议学术委员会主席周福霖院士首先做了题为“终止我国乡镇农村不断重复的地震灾难——我们的使命”的主题报告。他指出我国乡镇农村面积与人口分别占全国的 94.7%、53.4%,承受了我国多数地震灾难。“小震大灾、大震巨灾”是当前我国乡镇农村地震灾害的真实写照。抗震设防缺失、国家立法缺位、资金投入不足、农民地震安全意识缺乏,以及建造技术落后等是造成我国乡镇农村地震灾难的主要原因。他指出,要减轻乡镇农村地震灾难必须从建立全国震害资料数据库、完善相关立法、健全质量监管机制、加强乡村防震资金投入、提供可靠的技术支撑等宏观对策入手。他强调,隔震技术是国内外地震工程界 40 年来最重要的技术成果,是目前提高我国乡镇农村住房抗震能力的最佳现实选择之一。

王景全院士做了题为“南海岛礁开发建设思路创新”的主题报告。他首先从国家主权维护、战略发展的高度论证了南海岛礁开发建设的重要意义与紧迫性;然后从技术层面上提出了在我国南海实现围海造岛、以礁造岛,建造海洋平台、海上机场等诸多海洋工程的具体方法。他强调,土木工程师与学者们要有实现国家复兴强盛的使命感,在科研工作中要真正做到以国家需求为研究导向。

欧进萍院士做了题为“我国城镇及其重大工程抗震防灾若干进展与挑战”

的主题报告。他从村镇建筑与区域生命线工程抗震防灾、城市工程系统抗震防灾、重大工程地震破坏与控制三个方面提出了我国当前土木工程结构抗震防灾中存在的一些亟待解决的代表性科学问题及相应可行对策,如地震动场的模拟与验证、城市复杂灾害链的模拟与仿真,以及建立具有我国自主知识产权的结构软件分析系统等。

江欢成院士做了题为“群体高层建筑天空城市的构想”的主题报告。他用妙趣横生的语言与逼真的概念图片阐述了向天空“借地”——建造群体高层天空城市的设计构想;通过分析目前超高层建筑发展中存在的使用率低、存在安全隐患、舒适性不够等瓶颈,提出了打破超高层建筑各自独立的壁垒,实现“群体性”高层天空城市的核心技术内容。

聂建国院士以“关于我国土木(结构)工程及其科技工作的一些思考”为题做主题报告。他批评了当前我国土木工程建设中存在的过分追求怪异、新奇的建筑外观,而忽视结构实用性、经济性、耐久性及合理性的现象;指出结构工程师要有良心,要有社会使命感,要敢于对造型怪异、受力复杂、造价高昂的不合理设计方案说“不”,要积极应用科学合理的新技术、新体系。

在两天会期里,还有 19 位以长江学者、国家杰出青年基金获得者、国家千人计划获得者为代表的土木工程领域的知名学者做了精彩的大会报告。

同济大学吕西林教授在“高层建筑减震隔震的几种新技术研究”报告中,介绍了对大高宽比高层建筑基础隔震新技术的研究进展,就具有抗拉功能的橡胶支座研究、TMD 控制系统在超高层建筑中的应用研究、颗粒阻尼器等在高层建筑振动控制中的应用等问题做了精彩的报告。

湖南大学陈政清教授做了题为“三元被动减振理论与它的一种实现方式——电涡流轴向阻尼器”的报告,建议大力开展惯性力加阻尼力的复合减震技术的研究,认为电涡流轴向双作用力减振器可同时产生阻尼力和惯性力,同时降低结构地震响应的加速度和位移,有很好的应用前景。

中国机械工业集团有限公司总经理兼总工程师徐建在“结构工程振动控制与标准体系”报告中,详细介绍了精密装备、大型装备、古建筑的振动控制及标准体系。

大连理工大学李宏男教授在“结构健康监测系统集成及其工程应用”报告中,阐述了发展结构健康监测的重要性和必要性,对光纤传感器、同步解调仪、监测系统软件等的研发和应用情况,以及编制健康监测规范的情况做了精彩的介绍。

北京工业大学曹万林教授在“低成本村镇建筑抗震节能结构体系研究与应用”报告中,详细介绍了村镇住宅新型抗震节能一体化结构体系、低成本抗震节

能结构体系、低成本基础滑移隔震结构体系的研发及工程应用情况。

东南大学吴智深教授做了题为“结构区域分布传感与健康监测技术及理论体系”的报告,指出结构区域分布传感理念与技术有望得到进一步的发展。

重庆大学李英民教授介绍了装配式构造柱和简易滑移减震等两种村镇建筑实用抗震技术。云南师范大学叶燎原教授介绍了云南鲁甸地震震害考察及震害分析。深圳大学傅学怡教授介绍了高层超高层建筑结构设计新方法——调平法,借以克服高层建筑在重力荷载作用下,剪力墙、柱等竖向构件压应力水平和竖向变形产生差异时的设计问题。东南大学李爱群教授做了题为“结构减振技术的研究与实践”的报告,全面介绍了多层建筑、高层建筑、超高层建筑、高耸结构、大跨结构、桥梁结构等的隔减振控制技术。哈尔滨工业大学李惠教授则重点介绍了桥梁多灾害行为与控制。重庆大学刘汉龙教授做了题为“地震液化变形机理与抗液化排水刚性桩技术研究”的报告,提出一种具有碎石桩抗液化能力和刚性桩承载能力的新桩型。

在新型结构构件的研发方面,同济大学薛伟辰教授介绍了新型装配整体式混凝土结构抗震性能研究,武汉大学徐礼华教授介绍了钢-聚丙烯混杂纤维混凝土柱抗震性能研究。

在抗震分析理论及综合减灾技术方面,广州大学李志山教授介绍了高层建筑在罕遇地震作用下的大规模非线性数值仿真,北京工业大学杜修力教授介绍了非线性统一强度理论及岩土类材料弹塑性本构模型,广东工业大学李丽娟教授做了题为“群智能算法及其在结构优化设计中的应用”报告,华南理工大学吴波教授介绍了混凝土结构及隔震橡胶支座的耐火性能深化研究,隔而固(青岛)振动控制有限公司尹学军教授介绍了 TMD 阻尼减震技术及三维减隔震技术等产品的工程应用情况。

此外,有 56 位中青年土木工程科研工作者们以分组报告形式进行了学术交流与研讨。

三、主要观点和结论

通过两天的报告和研讨,形成以下主要观点和结论。

1) 要着力加强村镇房屋抗震技术的研究和开发,改善和提高村镇房屋的抗震性能,最大限度地减轻村镇的地震灾难。

目前要求全面大幅提高村镇房屋抗震设防标准、要求村镇房屋正规设计施工仍有难度,但若采用简易的结构隔震新技术,则是目前现实可行的减灾对策。它有效、成熟,投资增加不多,能成倍提高结构安全性,可逐步在村镇房屋中推广应用。

进一步的工作可从系统的调查摸底入手,建立强制性法律法规与标准体系,健全质量监管机制,加强防灾知识宣传,推动新农村建设的科学选址与规划,探索农房防震资金保障,提供技术支撑,因地制宜地在村镇房屋中推广国内外有效的先进防震技术。

2) 隔震技术是 40 年来国内外地震工程最重要的成果。应继续加强隔震和减震控制新技术及新体系的开发及其工程应用研究,特别是在高层大跨等复杂建筑和高铁桥梁中的应用研究。

3) 复杂结构和构件抗震性能的研究、抗震结构新体系的研究、减隔震装置基本性能的研究十分必要,本次论坛介绍了这方面的一些可喜的成果,建议把研究成果与工程实践紧密结合,以提高建筑结构的总体抗震性能。

4) 选择适当的重大工程进行结构健康监测非常必要。它可以实时监测和诊断结构的性能,评估其安全性,预测结构的性能变化和剩余寿命,并做出维护决定,对出现的危险状况及时报警。该领域中需要解决的关键问题,是理论成果如何在实际工程中实现。

5) 群体高层建筑设想新颖,值得进一步探究。

6) 本次论坛关于抗震分析理论及综合防震技术的成果十分可贵,建议继续深化这方面的研究。

四、论坛意义和影响

本次论坛目的明确、针对性强,出席会议的院士和专家在防震减灾领域有较高的知名度,研讨问题重点突出。本次论坛取得的成果,涉及我国当前和日后防震减灾领域的重点发展方向,凝练了防震减灾领域需要重点研究的若干科学技术问题,探讨了村镇房屋在大地震中的安全问题和对策,提出了一系列创新思想和新技术,可为国家或地区开展防震减灾工作提供咨询建议,对促进防震减灾理论和技术的进步与发展、推动行业间的合作与交流具有重要的意义。

第二部分

主题报告及报告人简介

Progress and Application on Seismic Isolation, Energy Dissipation and Control in Civil and Industrial Structures and Design Codes in China

Fulin Zhou, Ping Tan, Wenliuhan
Heisha, Xiangyun Huan
Guangzhou University

Abstract: China is a seismic country which 95% of territory is located in seismic zone. Most of strong earthquakes are over prediction. Most people dead caused by structures collapse. Earthquakes not only cause severe damages for structures, but also cause non-structural elements and inside facilities, cause to stop the city's life. Like hospital, power plant. Designers need to use the new technique to protect the structures and inside facilities. So the isolation, energy dissipation and control are more and more widely used in recent years. There are nearly 5000 structures with isolation and about 2000 structures with passive energy dissipation or hybrid control in China now. The fields of application includes house buildings, large or complex structures, bridges, immersed tunnel under sea or river, historical or cultural relic protection, industries facilities and retrofit for existed structures. Paper also introduce the design rules and some new innovating devices of seismic isolation, energy dissipation and hybrid control for civil and industrial structures. Paper also makes discussion for the tendency of development on seismic resistance, seismic isolation, passive and active control technique in the future in China and in the world.

Keywords: seismic isolation; energy dissipation; passive control; hybrid control

1 Earthquake tragedy and lessons in China

A tragedy strong earthquake, Tangshan M8.5 Earthquake, happened at 3 : 15 on