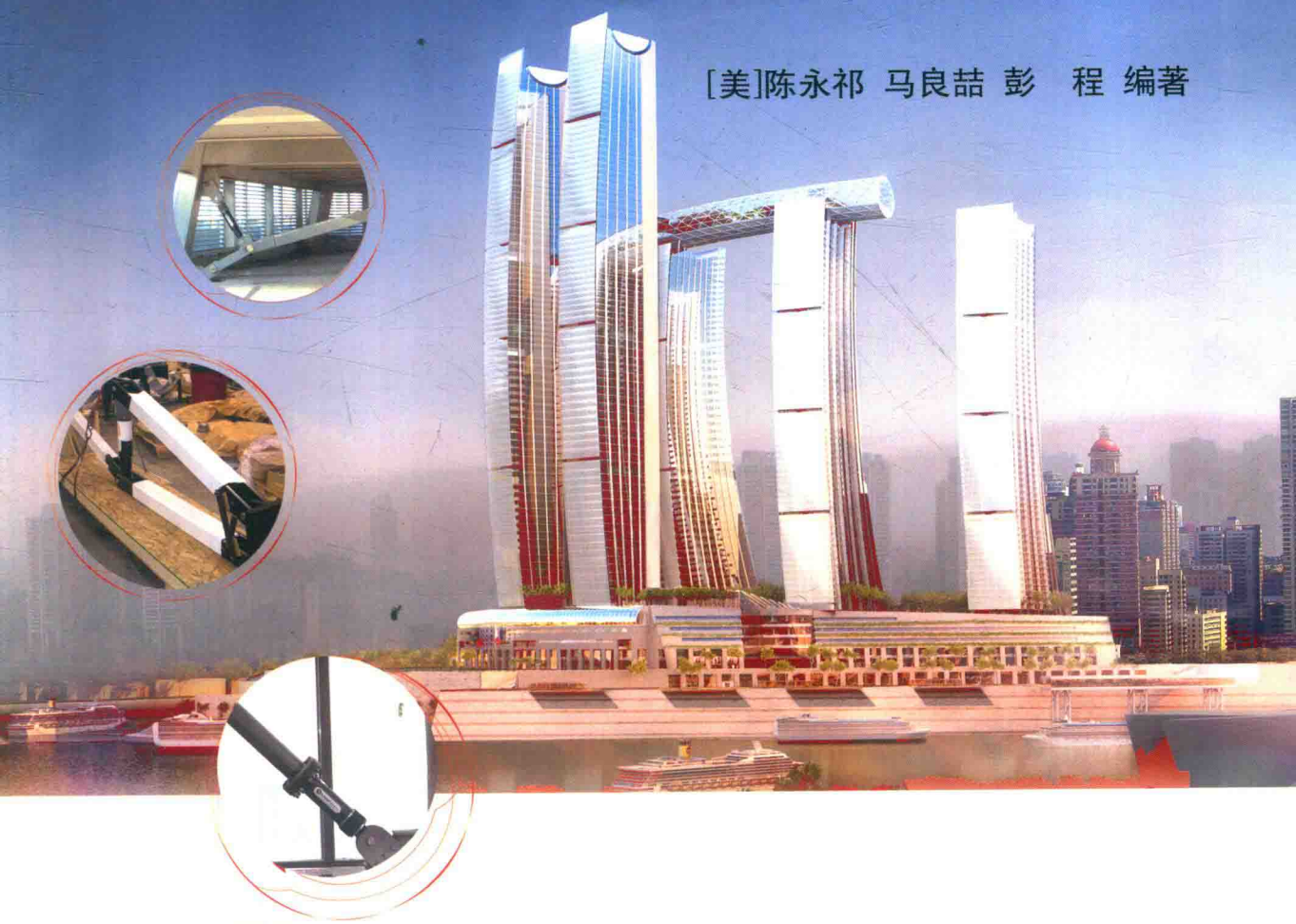


建筑结构液体黏滞阻尼器 的设计与应用

[美]陈永祁 马良喆 彭 程 编著



中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

建筑结构液体黏滞阻尼器的 设计与应用

[美]陈永祁 马良喆 彭 程 编著



中国铁道出版社

2018年·北京

北京市版权局著作权合同登记 图字 01-2018-2684 号

图书在版编目(CIP)数据

建筑结构液体黏滞阻尼器的设计与应用/(美)陈永祁,
马良喆,彭程编著. —北京:中国铁道出版社,2018. 10
ISBN 978-7-113-24448-4

I. ①建… II. ①陈… ②马… ③彭… III. ①建筑结构-
粘性阻尼-阻尼器-结构设计 IV. ①TU318

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 092086 号

书 名: 建筑结构液体黏滞阻尼器的设计与应用
作 者: [美]陈永祁 马良喆 彭 程

策 划: 陈小刚
责任编辑: 张 瑜 编辑部电话: 010-51873017
封面设计: 郑春鹏
责任校对: 胡明锋
责任印制: 高春晓

出版发行: 中国铁道出版社(100054,北京市西城区右安门西街8号)
网 址: <http://www.tdpress.com>
印 刷: 北京柏力行彩印有限公司
版 次: 2018 年 10 月第 1 版 2018 年 10 月第 1 次印刷
开 本: 787 mm × 1 092 mm 1/16 印张: 21 字数: 504 千
书 号: ISBN 978-7-113-24448-4
定 价: 86.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书,如有印制质量问题,请与本社读者服务部联系调换。电话:(010)51873174(发行部)
打击盗版举报电话:市电(010)51873659,路电(021)73659,传真(010)63549480



北京奇太总裁陈永祁博士（左一）与 T. T. Soong 教授



北京奇太总裁陈永祁博士（左一）与泰勒公司前任总裁 Douglas P. Taylor

■ 北京奇太总裁陈永祁博士（左一）
与纽约州立大学布法罗分校 M. C.
Constantinou 教授



■ 北京奇太总裁陈永祁博士（右
一）与美国泰勒公司总裁 Alan
Klembczyk



■ 中国检测机构专家在美国泰勒公司
参观出厂阻尼器的检验测试





■ **纽约公园大道 432 号** 位于纽约曼哈顿的超高住宅项目，高 427 m，共 96 层，建成后将是美国第三、纽约第二高的建筑，也是西半球最高的住宅建筑。它采用 11000 kN 的调谐质量阻尼器（TMD）提高风荷载作用下的居住舒适度，使用 16 个改进型高功率阻尼器控制质量块运动。



■ **弗里蒙特街 181 号** 旧金山市场区南部的 54 层、244 m 高的世界级高档商住两用摩天大楼。它是以在建的中央车站为中心的建筑群中的一个，与中央车站直接相连。环绕建筑的外立面动感十足！阻尼器使用巨型支撑连接，每个巨型支撑上有 4 套阻尼器，每个立面有 2 个巨型支撑，共定制 32 个金属密封阻尼器，控制地震和风作用下结构的振动。



■ **印尼雅加达 Green-bay Pluit 新区** 该项目包含多个购物中心及公寓建筑。采用泰勒公司 400 套液体黏滞阻尼器吸收地震能量，从而在地震发生时，减少或消除地震对建筑物的威胁。所选用的阻尼器为 3500 kN 和 4000 kN 两种。

■ **纽约西 55 街 250 号** 世界上第二个应用阻尼伸臂桁架的建筑，高 184 m。与其他方案相比，可节省近 1000 t 钢材，降低初始建设成本，减少维护费用，并且不必损失塔楼顶部昂贵的空间。

采用 7 个高效且寿命较长的金属密封阻尼器作为抗风系统的主要装置，取代部分支撑。阻尼伸臂桁架使结构强度优化和加速度优化可以分开进行，为高层结构的抗风提供全新的思路。





■ **北京银泰中心** 北京 CBD 标志性建筑之一，中央主楼高 249.9 m，共 63 层，为超高层钢结构。主塔楼采用 73 个黏滞阻尼器，改善风荷载下的舒适度，提高结构的抗震性能。



■ **北京盘古大观广场** 毗邻奥运场馆鸟巢的 40 层、192.5 m 高的超高层钢建筑。为满足规范对抗风、抗震的要求，采用 108 个液体黏滞阻尼器耗能减震方案，不仅大大增强结构整体抗震能力，提高安全储备，而且其经济性能优越。



■ **武汉保利文化广场** 221 m 高钢结构写字楼，采用 62 个黏滞阻尼器，改善风荷载下的舒适度，提高结构的抗震性能。



■ **天津国际贸易中心** 256 m 高钢结构，共 60 层。国内首次在高层钢结构建筑中采用套索形式连接阻尼器，在结构加强层上共安装 12 套液体黏滞阻尼器，使结构满足抗风要求，同时增强抗震能力。



注：以上彩插中所描述的项目楼层高度、层数数据均来源于计算模型。

作者简介

陈永祁,男,美国国籍。1966年毕业于北京工业大学土木建筑系结构专业,1968年~1978年先后就职于第一机械工业部陕西三线工厂以及纺织工业部设计院,从事设计、施工工作八年,担任设计工程师两年。1978年进入中国建筑科学研究院研究生院学习,1981年毕业并获得硕士学位后开始在建研院抗震所工作。1986年在美国纽约州立大学布法罗分校土木建筑系攻读博士学位。1989年~1993年在美国设计核电站公司先后担任工程师、高级工程师。1991年创办美国蓝湖国际公司,1998年任美国 Taylor 公司中国代理、高级工程师,2005年创办北京奇太振控科技发展有限公司。自1998年以来,完成了北京银泰中心、北京盘古大观、天津国贸中心等21个建筑阻尼器工程;南京长江三桥、苏通长江大桥、西堠门跨海大桥、云南龙江特大桥等41个桥梁阻尼器工程,并获得四项相关专利。截至目前,已出版专著三册——《桥梁工程液体黏滞阻尼器设计与施工》、《结构保护系统的应用与发展》、《桥梁地震保护系统》,发表土木工程领域的论文60余篇。

马良喆,男,1973年生于吉林长春,1996年毕业于吉林建筑工程学院土木工程系土木工程专业,2001年进入哈尔滨工业大学土木工程学院攻读硕士学位,从事结构耗能减震方面的研究工作。2005年前,先后就职于北京市建筑工程研究院检测所和中国电子工程设计院,分别从事建筑材料检测、结构构件桩基检测以及工业建筑结构设计等工作。2005年进入北京奇太振控科技发展有限公司,负责耗能减震技术的应用开发,陆续参与了多项高层建筑、大跨桥梁结构的抗震抗风计算分析及现场工作。截至目前,在土木工程领域发表论文20余篇。

彭程,男,1987年生于北京,主要从事结构消能减震分析与研究。2010年获北京工业大学建筑工程学院工学学士学位,2011年加入北京奇太振控,从事消能减震工作,以超高层结构应用液体黏滞阻尼器的抗震抗风分析为主,兼以超高层、大跨结构、人行桥结构的调谐减震。参与计算项目数十例,包括重庆来福士广场等大量地标性建筑。2014年在北京工业大学继续攻读硕士学位,师从高向宇教授。截至目前,在土木工程领域发表论文10余篇。

致 谢

首先,我要感谢中国建筑科学研究院工程抗震研究所及美国纽约州立大学布法罗分校的导师,尤其是 T. T. Soong、M. C. Constantinou 两位教授。美国的 M. C. Constantinou 教授作为世界“结构抗震保护系统”的重要开创者之一,他从 20 世纪 80 年代末开始构思、研究试验,再到工程试用、编制相关设计规范,在这个领域里发挥了重要作用。我很荣幸,能成为他们的学生,经常得到他们的教诲,听到他们对土木工程各种问题的看法。为了完成此书,他们的著作和论文为本书提供了重要参考。

其次,我对入选了美国宇航局名人堂的泰勒公司前任总裁 Douglas P. Taylor 给予的帮助也是感激不尽。当我从“Taylor”路走向 Taylor 工厂,为北京火车站找寻加固所需的阻尼器时,绝不会想到这个不起眼的工厂竟然孕育着许多我们结构工程师所渴望了解的知识,也不会想到这个工厂总裁竟然不仅对阻尼器产品有着深入的体会和了解,而且对结构工程领域有着许多极具参考价值的看法。泰勒先生时常向我讲述他的理论、经验和体会,也正因此,我们很多对产品的认识及工程经验,也大都源于他大量的优秀论文。当然,我们在此也需要对泰勒公司的总裁 Alan Klembczyk,以及 John Metzger、Bob Schneider、Craig Winters 等表示感谢。

再次,我要感谢帮助液体黏滞阻尼器进入中国的中国建筑科学研究院抗震所原副所长韦承基,以及与我们联合培养学生并做研究课题的北京工业大学赵均教授、燕山大学郑久建教授、美国阿拉斯加大学退休的刘荷教授,本书的成稿离不开他们的帮助和支持。

本书的部分章节由北京奇太振控科技发展有限公司的薛恒丽、陈夏楠、崔禹成及曾和我们共事的曹铁柱先生共同完成。本书在编写过程中,薛恒丽承担了大量的书稿整理和校对工作。因此,对他们的努力付出一并表示感谢。

本书总结了我们对液体黏滞阻尼器在结构工程设计和应用上的一些体会,希望能给大家带来帮助。我们更希望本书有助于推动和促进我国工程应用阻尼器的发展,并对世界阻尼器的理论和实际的发展做出贡献。

陈永祁

Preface

Recent damaging earthquakes and other natural disasters have provided powerful reminders of how vulnerable we all are to the forces of nature. Consequently, one of the principal current challenges in structural engineering concerns the development of innovative concepts to better protect structures along with their occupants and contents from damaging effects of destructive environmental forces.

In recent years, many innovative concepts of structural protection have been advanced, one of which is passive energy dissipation (PED). The basic role of PED devices, when incorporated into a structure, is to absorb or consume a portion of the input energy, thereby reducing energy dissipation demand on primary structural members, thus minimizing possible structural damage.

In this book, the author, Dr. Chen Yongqi, presents several case studies using PED devices in retrofitting existing structures in China and USA. The principal devices used in these studies are viscous fluid dampers (VFD) and tuned mass dampers (TMD). These case studies provide both theoretical basis and effective application of this relatively new technology to seismic strengthening of existing structures. This book thus offers invaluable information regarding the application of these devices to existing buildings and bridges.

Tsu T. Soong

SUNY Distinguished Professor emeritus
State University of New York at Buffalo

June, 2018

前 言

提到结构保护系统,很多结构工程界的工程师已经不陌生。液体黏滞阻尼器、屈曲约束支撑及隔震支座等系统已经在结构应用上得到广泛发展,其他如金属屈服阻尼器、摩擦阻尼器、阻尼墙等设备在我国也大量涌现并得到应用。

从1999年北京火车站在抗震加固中安置了32个液体黏滞阻尼器开始到现在,我们已经为北京银泰中心、北京盘古大观、广州大学体育场、上海东航机库、武汉保利大厦、天津国贸等20多个建筑工程进行过减震设计,并安置了世界先进的Taylor公司液体黏滞阻尼器,以增加这些超高层或大跨度建筑的耗能能力。近20年来,对这些建筑的抗风、抗震分析,以及阻尼器的生产、测试、安装和验收,都为我们提供了宝贵的经验,这些项目中有的已经成为我国建筑结构上阻尼器应用的标志性工程。我们在中国铁道出版社帮助下出版了介绍液体黏滞阻尼器在桥梁上应用的《桥梁工程液体黏滞阻尼器设计与施工(配盘)》一书,翻译了美国康斯坦丁诺(MICHAEL C. Constantinou)教授的专著《桥梁地震保护系统》,2015年针对我国减隔震耗能系统的发展和存在的问题,我们又撰写了《结构保护系统的应用与发展》一书作进一步讨论。作为兄弟篇,本书是想总结液体黏滞阻尼器在建筑工程上的应用与发展。

我们所完成的建筑项目,多数都属于一些超高、超限的超高层结构及大跨度空间结构,几乎每个工程都经过我们的充分分析与计算而完成,最终通过设置阻尼器巧妙地提高了结构性能并实现了设计意图。本书希望和大家交流的内容很多,其中针对在结构设计计算和阻尼器应用上所遇到的问题,介绍了我们做过的工作和发表的论文中的观点,包括针对特殊结构应用阻尼器方面的优化设计及经济分析、新式阻尼器安置方法、加强层上设置阻尼器的效果、TMD系统和直接安置阻尼器的效果对比、阻尼器简化计算方法和数值积分结果的对比、结构上的能量耗散及阻尼比的计算、对规范剪重比的控制标准等问题。在书中,我们也尽可能地摘录了一些国际上液体黏滞阻尼器工程的理论讨论和优秀工程案例。

关于阻尼器在结构工程上的运用,其中一部分是如何设计使其满足相应功能要求,即消能减震的设计阶段;另外一部分则是如何将设计成果进行具体实施,即消能减震的实施阶段,这部分内容涵盖了阻尼器的生产、测试以及安装、验收等多个环节,是整个项目成败的关键,也是目前我国亟待改善之处。

我国在建筑工程上飞速发展,大量新建建筑及需要加固的建筑给我们提出了越来越多的阻尼器应用需求,我国很多自主品牌的阻尼器正是在此背景下产生的。在未经严格检查管理的情况下,很多产品的基本理念和核心技术在很大程度上仍需改进,一些产品的质量和水平也有待提高。在我国已经发展使用二十多年的阻尼器理论和大量的实用产品中,仍然存在以下不足和问题:

(1) 有的知名大学的教授不花心思研究减隔震产品的原理和技术,简单地抄袭国外的论文和专利,把可以正确发展的理论引上歧途,申报了很多并未真正理解的“抄袭专利”,更可怕的是把错误和偏向带到实际的工程中。

(2) 国际上早已被否定的一些减震技术被我国某些知名学者未加发展地搬过来,在不能解决其致命缺点的前提下在国内工程中使用并报奖。

(3) 近十年来,我国已经安置了多套检测阻尼器的动力测试设备,但长期以来不能严格地检测减隔震产品。新安置的检测设备可能很好,但使用和操作的人员有的并不负责,也不去研究所必须经过的检测和控制质量,像美国土木工程学会 20 世纪 90 年代组织的 HITEC 第三方联合预检测在我国连一次类似的活动都安排不起来,真正遵循并实施到位的工程极其罕见。

(4) 我国有不少“新发展减震技术”,例如金属阻尼器的抗小震及抗风技术,阻尼墙的减震技术。在我国发展应用的文章有之,但关于产品的严格检测 and 对比其使用效果的文章几乎没有。与此形成鲜明反差的是,美国大学加州伯克利分校对液体黏滞阻尼器、BRB 及阻尼墙三者的优缺点、测试和检测办法、产品的体积、减震效果进行了大量试验和对比分析,并通过对比判定其发展方向,从而引导工程界能够正确运用这些产品。

(5) 我国某减震设备厂家(南京某公司)在一次国内的联合测试中,由于参与测试的阻尼器完全破坏而在其后不久破产,但该公司的阻尼器产品在参与此次测试之前,在国内 37 个工程项目上已经安置了。我国还有大量类似的工程案例,这些已经知道安置了不合格的阻尼器的工程未经处理。

阻尼产品未经严格检测就放到结构上使用,又没有经过安置后的检测,会给我国实际工程的抗震、抗风带来难于估量的大问题,不能达到这些核心技术的阻尼器是不能在长期工作中保证设计要求的。随着减震产品在建筑结构上的应用越来越广泛,国家层面已经认识到这些问题的严重性了,如建设部最近发布了《建设工程抗震管理条例》(征求意见稿),对阻尼器等减震产品提出了严格的要求和管理。我们盼望能尽快执行这些条例,彻底改变我国在这个领域中的乱象和问题。为了结构的安全着想,我们迫切希望国内相关部门能够加强使用前公开测试和几年后的定期检测这一要求。

在提高管理水平的时候,同样重要的是生产厂家能够理解并攻下阻尼器的以下三个核心技术方面:

第一,为了使阻尼器能在地震发生时快速启动,在各种环境下都能按设计的本构关系耐久、严格的工作,并能在长期使用检查阻尼器的内压及工作状态,对黏滞阻尼器预加高压是十分必要的,当然,采用这种高压动密封设计更需要很高的加工精度,才能在长期使用中保证不漏油。

第二,阻尼器本构关系的同一性。阻尼器应能在不同工作频率和速度、不同的温度环境下,均能够保持设计的本构关系。其核心技术是美国 Taylor 公司 20 世纪 80 年代发明出来的内部活塞头,这种高科技产品也就需要阻尼器厂家在产品出厂前提供包括各种不同环境下完整统一的测试报告。

第三,阻尼器长期使用的耐久性。《建筑消能减震技术规程》(JGJ 297—2013)第 8.7.2 条明确指出:“黏滞消能器和黏弹性消能器在正常使用情况下一般 10 年或二次装修时应进行目测检查,在达到设计使用年限时应进行抽样检验。消能部件在遭遇地震、强风、火灾等灾害后应进行抽样检验。”这也是我们一直想要提倡的保证抗震质量的目标,这比使用阻尼器时在线健康监测更有实际意义。

20 年来结构减震技术飞速发展,很多工程案例是早期写的文章,有待改进和提高。鉴于笔者的精力和水平有限,本书内容遗漏和不足之处在所难免,还望不吝指正。

陈永祁

2018 年 4 月

目 录

第1篇 综 述

第1章 概 述	3
1.1 阻尼器应用概述	3
1.2 阻尼器的设计目标和理念	6
1.3 不同阻尼器的选择	8
第2章 液体黏滞阻尼器简介	12
2.1 液体阻尼器的发展历史	12
2.2 土木工程用液体黏滞阻尼器的内部构造	15
2.3 液体黏滞阻尼器发展的三代产品	20
2.4 液体黏滞阻尼器的设计	26
2.5 液体黏滞阻尼器在结构上应用的研发过程	30

第2篇 阻尼器的设计与分析

第3章 基于性能的消能减震设计	41
3.1 基于性能的结构设计理念	41
3.2 性能设计发展现状	42
3.3 消能减震措施在结构性能设计中的作用	44
第4章 阻尼器减震结构的计算分析	47
4.1 阻尼比计算	47
4.2 TMD 的原理和计算方法	66
4.3 阻尼器减震结构的时程分析法	71
第5章 阻尼器的连接设计	76
5.1 阻尼器的支撑设计	76
5.2 阻尼器的连接方式	83
5.3 阻尼器的优化布置	85
5.4 阻尼器的特殊用途	89
第6章 建筑用阻尼器的安装方案	93
6.1 建筑阻尼器的一般安装方案	93

6.2	天津国际贸易中心安装方案	99
6.3	新疆阿图什布拉克大厦安装方案	101
第7章	建筑结构用阻尼器可靠性分析	108
7.1	抗震可靠性分析	108
7.2	抗风可靠性分析	115
第8章	消能减震结构经济分析	127
8.1	一次性投资经济分析	127
8.2	结构生命周期成本分析	132

第3篇 阻尼器的应用与检测

第9章	建筑结构用阻尼器的抗震应用	143
9.1	北京盘古大观	143
9.2	武汉保利大厦	150
9.3	新疆阿图什布拉克大厦	157
9.4	重庆来福士广场景观天桥	163
9.5	北京少年宫	175
9.6	其他阻尼器抗震项目	189
第10章	建筑结构用阻尼器的抗风应用	192
10.1	波士顿亨廷顿大街111号	192
10.2	纽约西55大街250号	199
10.3	旧金山 Fremont 181	202
10.4	北京银泰中心	206
10.5	天津国际贸易中心	217
10.6	其他阻尼器抗风项目	227
第11章	建筑结构用 TMD 的应用实例	230
11.1	芝加哥凯悦酒店	230
11.2	迪拜梅丹赛马场	237
11.3	郑州国际会展中心	245
11.4	临沂文化广场	248
11.5	河北师大体育学院楼	252
11.6	纽约公园大道432号	255
第12章	阻尼器和 TMD 的检测	257
12.1	阻尼器的设计审查及检测验收要求	257