

学校编码: 10384

分类号 _____ 密级 _____

学号: 25320071152211

UDC _____

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

基于遗传算法的 Benchmark 模型

振动控制研究

The Research of Vibration Control of Benchmark Model

Based on Genetic Algorithm

叶建宁

指导教师姓名: 张建霖 教授

专 业 名 称: 结 构 工 程

论文提交日期: 2010 年 5 月

论文答辩时间: 2010 年 6 月

学位授予日期:

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2010 年 5 月

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为()课题(组)的研究成果,获得()课题(组)经费或实验室的资助,在()实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，
于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

摘 要

随着社会的发展和技术的进步,土木工程结构的防灾减震已愈来愈受到人们的重视,土木工程结构的振动控制技术也随之进入蓬勃发展的阶段,许多新型控制体系和控制装置相继出现。振动控制在土木工程中的运用也产生了许多新的研究领域,被动控制器的优化设计问题便是其中之一。但大多数文献均采用各自的动力学模型,各研究人员的方法之间没有一个统一的交流平台。本文在以往研究的基础上,以 Benchmark 模型作为研究对象对被动控制器的优化设计问题进行了研究。主要完成的工作如下:

(1) 建立了 Benchmark 模型的动力学模型,以位移减震系数作为优化目标,利用遗传算法对阻尼器进行优化。这一优化设计方法主要包括两个方面:①、利用遗传算法对阻尼器的参数进行优化;②、基于结构在频域内的响应,从位移的角度出发,提出与时域相对应的控制器性能指标 Δr ,根据这一指标对被动控制器的数目和安装位置进行优化。同时考虑到规范对高层及超高层建筑的层间位移有较严格的限制,因此只在层间位移突变或有特殊要求的楼层设置阻尼器,其余次要楼层均不安装。通过算例的对比说明,本节建议的方法不仅能有效控制结构的位移响应,同时也能较好的控制结构的层间位移,还能大大减少阻尼器的安装数量,具有一定的经济性、合理性。

(2) 建立了 Benchmark 模型的动力学模型,以位移减震系数作为优化目标,利用遗传算法对调谐质量阻尼器的参数进行优化。首先对双向 TMD 控制下的 Benchmark 模型进行了研究。结合以往文献^[21]的研究成果,说明当结构体型较复杂的时候,即使增大 TMD 的质量,双向 TMD 也不能对结构的位移响应起到有效的控制效果。同时也说明了随着 TMD 质量的增加,TMD 的控制效果会更好,但是层间位移的控制与 TMD 的质量没有必然的关系。为了改善结果,对模型同时布置多个 TMD,以控制模型第一振型为目标,利用遗传算法对 MTMD 参数进行优化。通过算例的对比说明,多个 TMD 能有效控制结构的单层位移,且控制范围为 MTMD 所在楼层上下各 5-7 层。但是 MTMD 对结构的层间位移的控制没有规律性,有可能导致层间位移减小,也可能更大。

(3) 考虑到现代建筑中日益突出的非结构构件和设备抗震设计的重要性,也为了验证本文对被动控制器优化设计方法的有效性和正确性,利用古典谱讨论了

次结构在不同质量比和不同阻尼比情况下反应谱的变化规律,总结了阻尼器优化设计结果对次结构反应谱的影响,得出一些有参考意义的结论。

关键词: Benchmark 模型 遗传算法 被动控制器优化设计

厦门大学博硕士学位论文摘要库

ABSTRACT

With the development of human society and the progress of technology, in recent years, more and more attention has been paid to the disasterproof or aseismic design of civil structures, which promotes the development of vibration control technology in civil engineering greatly. As a result, various innovative control devices and systems have been developed and studied, and many new research fields also have come into being due to the application of vibration control technology in civil engineering. Among these fields, the optimal design of control devices draws a great deal of attention. But kinds of kinetic models are adopted in many literatures, and there is no uniform internet platform provider between methods used by researchers. Based on the past research achievement, as a research object, the problem of optimal design for passive control devices of the Benchmark model is studied in this paper. Following is the main content of this paper:

(1) The mathematical model of the Benchmark model is established in structural dynamics, and displacement reduction factor is used as optimization goal. Based on these, the damping devices are optimized by genetic algorithm. This method involves two aspects: ①、the optimal parameters can be obtained by using the genetic algorithm; ②、in frequency domain, based on the dynamic responses of the Benchmark model, the performance index of control devices (Δr) is proposed according to the displacement concept used in stochastic dynamics, and the number and placement of passive control devices can be optimized according to this performance index. Meanwhile, the story drift of high-rise building is strictly limited in the criterion. So the dampers are only installed in the story whose drift has mutation or required distinguishingly. According to the contrast of numerical examples, the displacement response is controlled effectively, also the control of story drift has a good result by the way suggested in the chapter, and the number of damper is greatly decreased.

(2) The mathematical model of the Benchmark model is established in structural dynamics, and displacement reduction factor is used as optimization goal. Based on

these, the tuned-mass damper are optimized by genetic algorithm. The bi-directional tuned-mass damper installed in the Benchmark model is studied firstly. uniting the research highlights of previous literature, the displacement response of structure can't be controlled effectively, even if the mass of TMD is increased, when the figure of structure is intricacy. Also the control results will be better with the augment of the mass of TMD, but there is no certain relationship between the story drift and the mass of TMD. To improve results, multi-tuned-mass damper are located in the model, and the parameters of MTMD are optimized by the same way with previous chapter. According to the contrast of numerical examples, the single displacement can be controlled effectively by MTMD, but the result of the story drift has no regularity.

(3) In modern buildings the aseismic design of non-structural components or equipments become more and more important, because the damage of these non-structural components or equipments may cause serious problems, such as the leakage of poisonous materials if the equipment is a container, or even nuclear leakage if the equipment is a nuclear reactor. When considering this fact, the method for the optimal design of damping devices installed in the Benchmark model and with parametric limitations is further investigated. Based on this, the effect of the optimal design results of passive controller on the floor response spectrum of substructures (i.e., non-structural components or equipments) is also investigated. As a result, some valuable conclusions are obtained.

Key Words: Benchmark Model; Genetic Algorithm; Optimal Design of Passive Control Devices

目 录

第一章 绪论	1
1.1 引言	1
1.2 振动控制概述	1
1.3 本文研究内容	13
第二章 线性多自由度体系的地震响应分析及相关理论	15
2.1 Benchmark 模型简介	15
2.2 多向地震作用在结构振动控制中的分析	16
2.3 遗传算法	23
第三章 Benchmark 模型控制体系阻尼器优化设计	29
3.1 Benchmark 模型结构基本参数	29
3.2 Benchmark 模型动力学方程	32
3.3 Benchmark 模型结构控制体系阻尼器的优化设计	38
3.4 算例 1	42
3.5 算例 2	46
3.6 本章结论	50
第四章 Benchmark 模型控制体系 TMD 优化设计	51
4.1 Benchmark 模型动力学模型	51
4.2 TMD 参数优化	54
4.3 MTMD 参数优化	60
4.4 本章结论	68
第五章 Benchmark 模型控制体系的次结构反应谱研究	69
5.1 算例 1	70
5.2 算例 2	76
5.3 本章结论	82
第六章 论文总结与展望	83
6.1 论文总结	83

6.2 展望	85
参考文献	87
致 谢	93
攻读硕士学位期间发表论文目录	95

厦门大学博硕士论文摘要库

CONTENTS

Chapter 1 Preface	1
1.1 Introduction	1
1.2 Summary of vibration control	1
1.3 Main work of this paper	13
Chapter 2 Analytical for dynamic responses and correlation theory of linear multiple-degree-of-freedom systems subjected to earthquake excitations	15
2.1 Introduction of Benchmark model	15
2.2 Analytical of multi-dimensional earthquake excitation in vibration control of structure	16
2.3 Genetic Algorithm	23
Chapter 3 Optimal design of damping devices installed in Benchmark model	29
3.1 Basic Parameters of Benchmark model	29
3.2 Kinetic equations of Benchmark model	32
3.3 Optimal design of damping devices	38
3.4 Numerical example 1	42
3.5 Numerical example 2	46
3.6 Conclusions	50
Chapter 4 Optimal design of Tuned Mass Dampers(TMD) installed in Benchmark model	51
4.1 Kinetic equations of Benchmark model	51
4.2 Parametric optimization of TMD	54
4.3 Parametric optimization of MTMD	60
4.4 Conclusions	68

Chapter 5 Research of sub-structure response specturm installed in	
Benchmark model	69
5.1 Numerical example 1	70
5.2 Numerical example 1	76
5.3 Conclusions	82
Chapter 6 Conclusions and issues for further study	83
6.1 Conclusions of this paper	83
6.2 Important issues for further study	85
References	87
Acknowledgements	93
List of published or accepted papers	95

第一章 绪论

1.1 引言

近年来,随着我国经济的高速发展,以及高强轻质材料的出现和结构分析、设计技术的发展,高层建筑与高耸结构如雨后春笋。由于建筑材料的飞速更新,大量新型轻便的化学建材出现,代替了以往使用的粘土砖、混凝土等笨重材料,使结构的重量大大减轻。而建筑高度的增加和高强材料的应用,导致结构的刚度下降、阻尼减小,在外来激励(地震作用、风荷载等)作用下,结构的反应必然增大,影响到结构的正常使用。

传统的抗震结构体系通过增强结构本身的性能来“抗御”地震作用,即由结构本身储存和消耗地震能量,以满足结构的抗震设防要求。但由于人们尚不能准确地估计结构未来可能遭遇的地震动的强度和特性,而按传统方法设计的结构其抗震性能不具备自我调节与自我控制的能力,为了保证结构在地震作用、风荷载作用下能够满足设计者和使用者的要求,传统的设计手段是要求提高结构的抗力,如加强结构构件截面强度,增大结构截面面积,有较强的抗变形能力等,但是这些技术措施都有其局限性,在一定程度上限制了建筑功能的发展,增加了结构的造价,使实际工程难以接受。过去许多震害、风灾等现象表明这种抗灾措施存在很大不足,已不能满足现代建筑的需求。另外,由于地震作用与风荷载是不确定性激励,单纯依靠提高结构强度的方法,难以达到预期效果。因此在这种不确定性的地震作用下,结构很可能不满足安全性的要求,而产生严重破坏,甚至倒塌,造成重大的经济损失和人员伤亡。结构控制通过在结构上设置控制机构,由控制机构与结构共同控制抵御地震动等动力荷载,使结构的动力反应减小。结构控制是人的主观能动性与自然的高度结合,是结构对策的新的里程碑^[1]。

1.2 振动控制概述

结构振动控制是研究控制结构反应(位移、速度或加速度)的设计理论和应用技术。在土木工程中,结构振动控制的概念是在1972年由美国学者J. T. P. Yao教授首先提出来,是70年代发展起来的一种新的结构设计思想,它是应用古典或现代控制理论,通过在结构上设置一些控制装置,从而改善结构的力学性能。当结构受到风荷载、地震作用等激励时,这些控制装置就会对结构产生一组被动或主动

的控制力,使结构的反应得以显著的降低。结构控制是一种不同于传统结构设计方法的全新的积极主动的方法,它改革了利用承重结构本身来抵御横向荷载的思想,通过应用结构控制的理论,可以显著地提高结构的承载能力,降低结构的重量,保证结构满足安全性、使用性及人的舒适性要求,是结构设计思想的一次飞跃。最近20年来,结构控制已在世界范围内成为结构工程研究的热点,在理论、试验及实际应用方面都取得了令人瞩目的成果。

从广义上说,振动控制包括两方面的内容:一是振动的利用,充分利用有利的振动,如各类振动机器等;另一是振动的抑制,尽量减小有害的振动,因为振动加速运转机械的磨损,缩短产品与结构的寿命,使人易于疲劳,使仪器易于失灵^[1]。土木工程领域的振动控制通常属于后者,即采用某种措施使结构在动力荷载作用下的响应不超过某一限量,以满足工程的要求。土木工程领域的振动控制研究和应用已有 30 余年的历史^[2]。结构控制根据是否需要外界能量,一般分为被动控制、主动控制、混合控制及半主动控制,如图 1 所示。



图1 结构控制分类

1.2.1 被动控制

结构被动控制一般是指在结构的某个部位附加一个子系统,或对结构自身的某些构件做构造上的处理以改变结构体系的动力特性。被动控制因其构造简单,

造价低, 易于维护且无需外界能源支持等优点而引起了广泛的关注, 并成为当前应用开发的热点, 许多被动控制技术已日趋成熟, 并已在实际工程中应用。

从控制机理上讲, 被动控制有三条基本途径: 一通过在结构的特定部位设置隔振装置来阻断建筑结构的能量输入, 直接达到减振控制的目的, 通常称之为隔振; 二是通过附加在结构上的一些耗能阻尼器, 如全金属屈服阻尼器、粘弹性阻尼器、流体阻尼器来耗散能量达到减振的目的, 通常称之为消能减振。此时, 建筑结构在进入塑性变形前阻尼器材料先发生屈服, 以耗散大部分能量。另一条途径是通过振动模态间的相互传递(如可调质量阻尼器等), 通常称之为质量调谐减振。然后, 通过振动模态间的相互转换, 将建筑结构的主振动转移到附加系统中去。被动控制精度差且控制频宽较窄, 但被动控制具有构造简单、便于应用的优点, 应用比较广泛。

1.2.1.1 基础隔振体系

基础隔震体系是在上部结构与基础之间设置某种隔震消能装置, 以减小地震能量向上部的传输, 达到减小结构振动的目的。隔震装置必须具备下面三项特性:

- (1) 具有较大的变形能力;
- (2) 具有足够的初始刚度和强度;
- (3) 提供较大的阻尼, 具有较大的耗能能力。

基础隔震能显著地降低结构的自振频率, 适用于短周期的中低层建筑和刚性结构。由于隔震仅对高频地震波有效, 因此对高层和超高层建筑不太适用。另外, 橡胶隔震垫的老化和耐久性问题, 以及隔震效果的定量设计问题还有待于进一步的研究。

基础隔震是当前应用最广泛, 也是最成熟的一项技术。一些研究和应用较广的隔震装置有: 1. 夹层橡胶垫隔震装置; 2. 滚珠(或滚轴)加钢板消能装置; 3. 粉粒垫层隔震装置; 4. 铅塞滞变阻尼器隔震装置; 5. 钢滞变阻尼器隔震装置; 6. 基底滑动隔震装置; 7. 悬挂基础隔震装置; 8. 混合隔震装置等;

1.2.1.2 消能减震体系

消能减震体系是把结构物的某些非承重构件设计成消能元件, 或在结构物的某些部位装设阻尼器。在风载或小震时, 这些消能构件与阻尼器仍处于弹性状态, 结构体系仍具有足够的侧向刚度以满足正常使用要求; 在强风或强震作用下, 消

能元件或阻尼器首先进入非弹性状态,产生较大的阻尼,大量耗散能量,使主体结构的动力反应减小。

消能减震系统主要可分为两类:

1、消能构件减震体系:利用结构的非承重构件作为消能装置的结构减震体系,常用的消能构件有:

(a) 消能支撑:包括方框消能支撑、圆形消能支撑、K形偏心消能支撑等。

(b) 消能剪力墙:有横缝剪力墙、竖缝剪力墙、周边缝剪力墙和阻尼器剪力墙等。

2、阻尼器消能减震体系:强震时通过阻尼器耗散能量。

(a) 摩擦阻尼器:利用摩擦力做功耗散能量。

(b) 金属阻尼器:利用某些金属具有的弹塑性滞回变形耗能,包括软钢耗能装置、铅挤压阻尼器、记忆合金(SMA)耗能器。

(c) 粘性和粘弹性阻尼器:利用阻尼器材料分子的相对错动摩擦耗能。

消能减振装置主要有:金属屈服阻尼器、摩擦阻尼器、粘弹性阻尼器、粘性液体阻尼器、调谐质量阻尼器、调谐液体阻尼器、液压质量控制系统和质量泵等。这里只对本文的研究对象:调谐质量阻尼振动控制系统(TMD)作简要介绍,其余装置可见其他相关文献。

调谐质量阻尼器系统是一个小的振动系统,由质量块、弹簧、阻尼器组成。调谐质量阻尼器系统的工作原理是:原结构由于加入了TMD系统,其动力特性发生了变化,当原结构在外荷载作用下产生振动时,TMD系统随之振动,并产生控制力反作用于结构上,从而减小结构的动力反应。由于TMD能有效地衰减结构的动力反应,安全、经济,已被广泛用作高层建筑、高耸结构及大跨桥梁的抗震抗风装置。TMD不仅可用于新建建筑,而且通过“加层减震”技术可以改善已有房屋的耐震性能。TMD体系有三种:(1)支承式;(2)悬吊式;(3)碰击式。

支承式TMD滑块的启动存在着严重的时间滞后,而且地震能量密度谱较宽,因此TMD抗震效果不如抗风效果好。目前有一种带杠杆和摆的调谐质量阻尼器(TMDLP),该控制系统能显著降低高层建筑的水平位移、扭转位移和加速度反应,而且其调谐质量块在地震激励下的位移比TMD的位移小。该系统可以通过在结构的顶层设置多个摆,用以控制高层建筑或高耸结构的前几阶振型。

调谐质量阻尼器由Frahm于1902年发明,最初是为了防止德国大型邮船的水箱摆动而设计的。由于TMD系统能有效地衰减结构的动力反应,并且经济、安全,已被广泛应用于高层建筑、高耸结构及大跨桥梁的抗震抗风。TMD系统不仅可以应用于新建筑,也可以通过加层改造技术来改善已有建筑的抗震性能。

目前,TMD系统已成功地装置在许多实际工程中,如澳大利亚1971年在324.8m的悉尼电视塔上安装了两个TMD系统用来减小电视塔第一振型和第二振型风振反应,提高了结构有效阻尼,结构侧移大为减少,加拿大1975年在553.5m多伦多电视塔上装设了两个小型TMD,减小了塔的第二和第四阶振型的振动,使天线杆所受荷载最小。日本1989年也在福冈钢结构电视塔上安装了两个TMD来减振,减小了塔的风振反应40%。美国纽约的Citicorp Cventer顶部安装了一个近400吨重的大型TMD系统,美国波士顿的John Hancock大厦安装有两个300吨重的TMD系统。1990年建成的大阪Crystal Tower将塔楼上的若干水池制成悬吊调谐减振系统(PTMD),实测强台风速39m/s时消减加速度响应约50%^[3]。

1.2.1.3 被动控制有待研究的问题

被动控制系统不需要外部能源,一般只对某种设定的地震动特征进行控制,缺乏跟踪和调节的能力。其效果明显依赖于输入激励的频谱特性和结构的动态特性。目前对于被动控制的研究主要存在下面几个问题:

(1) 被动控制装置的研究:一方面研究新的、有效的、经济效益好的被动控制装置。另一方面对现有的被动控制装置进行研究,消除其局限性,扩大其适用范围;

(2) 被动控制装置耐久性的研究及其材料性能的研究;

(3) 被动控制减震效果的定量设计控制问题;

(4) 被动控制系统的可靠性研究:包括结构自身可靠性与控制器可靠性的研究;

(5) 被动控制装置的安装、维修与更换;

(6) 被动控制的应用开发研究:包括编制我国的减震技术规程,进一步推广并正确指导应用减震技术。

1.2.2 主动控制

主动控制是应用现代控制技术,对输入地震动和结构反应实现联机实时跟踪

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库