

橡胶垫高层隔震与磁流变阻尼减震技术

付伟庆◇著



 黑龙江大学出版社

橡胶垫高层隔震与磁流变阻尼减震技术

付伟庆◇著



黑龙江大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

橡胶垫高层隔震与磁流变阻尼减震技术 / 付伟庆著.
-- 哈尔滨: 黑龙江大学出版社, 2011. 12
ISBN 978 - 7 - 81129 - 137 - 7

I. ①橡… II. ①付… III. ①高层建筑 - 橡胶 - 隔震 - 研究②高层建筑 - 磁流体 - 流变 - 阻尼减振 - 研究
IV. ①TU352.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 123206 号

书 名 橡胶垫高层隔震与磁流变阻尼减震技术
著作责任者 付伟庆 著
出 版 人 李小娟
责 任 编 辑 王红星
出 版 发 行 黑龙江大学出版社(哈尔滨市学府路 74 号 150080)
网 址 <http://www.hljupress.com>
电 子 信 箱 hljupress@163.com
电 话 (0451)86608666
经 销 新华书店
印 刷 哈尔滨市石桥印务有限公司
开 本 880 × 1230 1/32
印 张 5
字 数 122 千
版 次 2011 年 12 月第 1 版 2011 年 12 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978 - 7 - 81129 - 137 - 7
定 价 17.00 元

本书如有印装错误请与本社联系更换。

版权所有 侵权必究

前 言

我国被认为是世界上地震多发地区,历来也是遭受地震灾害最严重的国家之一。2008 年发生在我国的 5.12 汶川特大地震,更是造成重大经济损失和人员伤亡。此外,随着我国经济、社会的不断发展和城市化的不断推进,城市中高层、超高层建筑占总建筑中的比例不断提高,大型需特殊防护重要性建筑不断出现,如何通过减震技术的应用,来减少大地震发生时对这类建筑物破坏造成的损失,更是目前亟待解决的问题。

隔震减震技术目前已被公认为是结构地震反应控制技术中最为成熟和有效的一种。目前已建成的大量隔震结构,其中有的已经经受住了实际地震动的考验,显示了很好的减震效果。但该技术现阶段只在中低层建筑结构中使用,将其应用到高层建筑结构和特别重要建筑中还有若干关键问题尚未解决,这严重制约了隔震技术在建筑结构的使用。本书通过理论分析和试验研究方法,对隔震技术应用于高层建筑和需特殊防护建筑时的设计方法问题和试验研究进行了相关介绍。

磁流变阻尼器是一种智能驱动器,它耗能小、出力大、响应快,因而要求其对应的算法既要计算速度快又要有较好的控制效果。鉴于磁流变变阻尼控制对控制力有约束条件,而一般的优化算法对此约束条件处理起来较困难,本书编制了遗传控制算法。该算法程序处理约束条件简单,用其作磁流变控制系统的控制算法,能对结构振动起到很好的控制作用。应用该遗传

算法对安装磁流变阻尼器后不同动力特性的结构,在不同场地波下的振动反应进行了数值计算分析,验证了阻尼器对结构和场地的适应性。

本书共分6章,第1章对国内外高层隔震和智能隔震的研究现状进行了介绍,并指出应用中存在的问题;第2章针对小比例尺模型结构进行的多维振动台试验,较全面地揭示了高层隔震结构不同高宽比隔震结构的动力反应特点,研究证明大高宽比限值或抗倾覆装置的必要性;第3章通过对一组具有不同变形特征规则型隔震结构模型进行分析,根据等效准则,研究给出了不同变形特点规则型隔震结构,基于柔度系数和刚度系数分别表示的等效模型结构参数的计算方法。在此基础上给出针对高层隔震结构的实用设计方法;第4章基于遗传控制算法,考虑磁流变半主动控制体系约束条件的要求,编制程序进行了一系列结构振动控制的计算,得到一些有用的结论;第5章针对磁流变智能隔震结构的减震特点,提出一套基于性能设计的设计过程。该方法充分考虑了磁流变智能隔震结构的振动控制特点,适用于城市中大量重要性和对加速度反应有特别要求建筑的抗震设计;第6章在对原有钢管混凝土短柱隔震支座进行改进基础上,提出并设计了多级变刚度耗能器,性能试验验证其可行性。最后将对耗能与隔震联合控制下的结构振动台试验进行介绍。

本书所进行的研究,得到住房与城乡建设部科技开发项目——高层建筑结构隔震减震新体系的若干关键问题及应用研究(2009-K3-23)、智能隔震建筑结构新体系关键技术研究与应用(2010-K3-14)以及黑龙江自然科学基金面上项目——高层建筑结构隔震减震体系的若干关键问题及应用研究(E201155)的大力资助,作者在此表示衷心的感谢。

由于作者水平有限,书中不当之处恳请读者批评指正。

目 录

1	国内外高层隔震与磁流变阻尼减震研究现状	1
1.1	高层隔震技术研究与应用现状	3
1.2	磁流变阻尼减震技术研究与应用现状	7
1.3	基于性能设计方法的研究概况	9
1.4	本书主要内容	11
2	小比例尺隔震结构模型多维振动台试验	13
2.1	试验模型结构及其相似关系	14
2.2	隔震支座的选择与性能试验	15
2.3	加载地震波与加载工况的选择	16
2.4	Y 向小高宽比隔震结构双向振动台试验分析	18
2.5	X 向大高宽比隔震结构双向振动台试验分析	21
2.6	隔震结构三向振动台试验分析	29
2.7	模型结构地震反应的数值计算分析	35
2.8	重要结论	40
3	基于等效模型的高层隔震结构实用设计方法	42
3.1	三质点等效模型体系的组成	43
3.2	基于柔度系数表示的两质点结构参数计算公式的 推导及参数确定	44
3.3	柔度系数表示高层隔震结构等效模型参数的简化 计算方法	51
3.4	计算实例	57
3.5	基于刚度系数表示的两质点结构参数计算公式的	

推导及参数确定	60
3.6 基于等效模型的高层隔震结构实用设计方法	68
3.7 重要结论	69
4 基于遗传算法的磁流变智能半主动控制	71
4.1 磁流变驱动器的恢复力模型及性能	72
4.2 结构模型的建立及最优控制力的必要条件	74
4.3 遗传控制算法	77
4.4 遗传控制算法中各种参数的选取	81
4.5 程序设计与流程图	83
4.6 半主动控制下结构地震反应的数值计算分析	86
4.7 重要结论	107
5 基于性态的磁流变智能隔震系统设计	109
5.1 性态水平的设定	110
5.2 性态指标的设定	111
5.3 设计方法的提出	112
5.4 设计算例	113
5.5 重要结论	117
6 变刚度滞变耗能器与隔震联合控制试验	119
6.1 变刚度滞变—摩擦钢管混凝土短柱隔震装置的改进	120
6.2 软钢多级变刚度滞变耗能器设计思想和初步试验研究	123
6.3 隔震与耗能联合控制试验模型与试验方案	129
6.4 钢筋混凝土纯框架结构隔震与耗能联合控制的试验	133
6.5 重要结论	142
参 考 文 献	143
附 录	150

1 国内外高层隔震与磁流变阻尼减震研究现状

我国被认为是世界上地震多发地区,历来也是遭受地震灾害最严重的国家之一,仅最近五十年就发生了海城地震、邢台地震、云南澜沧地震和唐山地震等 7 级以上大地震。河北省唐山市发生的震级 7.8 级大地震,造成死亡 24.2 万人,重伤 16 万人,一座重工业城市毁于一旦,直接经济损失 100 亿元以上^[1];而 2008 年发生在我国的 5.12 汶川特大地震,震级更是达到里氏 8 级,涉及四川、重庆等 10 个省区市,造成 69 227 人遇难、17 923 人失踪,直接经济损失达 8 451 亿元^[2];应该说,我国与地震灾害的斗争是长期的和严峻的。

近些年,随着我国经济、社会的不断发展和城市化的不断推进,城市中高层、超高层建筑占总建筑中的比例不断提高。以首都北京为例,2000 年以前北京的高层建筑主要是 10 ~ 20 层的住宅,2000 ~ 2003 年北京市每年建成 10 层以上非住宅建筑 $(160 \sim 200) \times 10^4 \text{ m}^2$, 占当年 10 层以上建筑竣工面积的 12.21%。据有关部门统计,北京市已建成的各类高层(10 层以上)建筑达 4 000 幢以上。根据北京市目前超高层建筑施工进度,2005 ~ 2007 年竣工的 30 多个项目主要集中在高档商务办公楼、信息传媒中心以及少量的公寓和住宅,即今天建设超高层建筑已经没有任何实际困难。

目前,已建成的这些高层建筑大多集中在地震基本烈度 7

度及 7 度以上地区的大中型城市,而这些城市 $1/2$ 以上又处于潜在地震发生区域。例如北京和天津地震设防烈度为 8 度,上海、广州和成都地震设防烈度为 7 度,因此这些城市中的高层建筑结构均易受到地震灾害的威胁。另外,考虑到高层建筑结构在地震发生时对地震反应的放大效应,相对于中低层建筑,其更易遭到倒塌和破坏,相应地震造成的经济和人员损失也要大的多。因此现阶段如何针对高层建筑结构积极开展抗震减震技术的研究和应用具有非常重要的现实意义。

隔震减震技术目前已被公认为是结构地震反应控制技术中最为成熟和有效的一种。目前已建成大量的隔震结构,其中有的已经经受住了实际地震动的考验。总的来说,对刚性结构的隔震技术研究已经较为成熟。在我国,2001 年版的建筑抗震设计规范中已经列入隔震和消能减震设计一章^[3]。采用这种技术的建筑结构地震反应普遍减小了 $1/2$ 以上,抗震设防裂度相应可减小 1 度,且该技术的应用具有很好的可靠性。

应该看到,无论是在抗震规范要求还是工程设计实践中,隔震技术现阶段只在中低层建筑中使用,将其应用到高层建筑结构和特别重要建筑中还有若干关键问题尚未解决,这严重制约了隔震技术在建筑结构的使用。本研究即是对高层建筑结构隔震减震这种新体系的研究,同时研究解决这种新体系应用过程中可能出现的若干关键性问题,从而为此项研究的工程应用做好理论和试验准备工作。项目研究单位还将在实际工程中使用项目研究成果,通过示范工程项目来推广这种高层建筑结构隔震减震新体系,为推动我国高层建筑抗震性能的提高做出一份贡献。

1.1 高层隔震技术研究与应用现状

目前,橡胶支座的隔震结构体系在中低层建筑中已得到广泛应用。近年来,隔震技术逐渐被应用到高层建筑中,在隔震层造价增加不明显的情况下,高层隔震建筑具有更好的经济性。高层隔震结构体系的研究和应用在1998年前后逐渐展开。日本日建设计、竹中工务店、藤田公司等建筑公司先后尝试高层和超高层隔震结构体系的研究开发和工程应用^[4]。竹中工务店于2002年和2005年建造42层和52层的超高层隔震结构^[5,6]。我国山西兴建地面17层,局部19层的隔震建筑。2003年仙台地震和2005年的高层隔震结构的强震记录表明隔震技术不仅对于中低层建筑有良好的减震效果,对高层建筑结构也有较好的减震效果^[7]。

相对于中低层隔震结构,高层和超高层隔震建筑的高宽比普遍较大,超过现有规范的要求^[8]。针对该种大高宽比隔震结构,近年国内外相继开展了相关的理论与试验研究。

1.1.1 高层隔震技术的理论研究

1.1.1.1 简化计算模型

在隔震结构简化计算理论研究方面,Kelly(1997)、Hwang(1997)、李中锡、周锡元(2002)、小林正人、洪忠熹(2001)等发表了各自的研究成果。Kelly和周锡元等人提出一种双自由度等效模型,该双自由度模型由隔震层一个自由度和隔震层以外的子结构一个自由度组成^[9-10]。小林正人等针对多层隔震结构体系的两质点简化计算模型进行了地震反应分析,给出了和单质点模型相近的结论^[11]。文献[12-14]将隔震结构等效为双自由度体系简化模型,论述了利用结构随机响应评判隔震

简化模型参数几种不同取值方式的一般原则,建立了计算简化体系等效参数的多目标优化参数识别模型。

在上述计算分析理论中,采用的两质点剪切型模型对于多层隔震结构体系和小高宽比隔震结构体系是适用的。但是对于高层和大高宽比隔震结构体系,由于剪切型计算模型忽略了上部结构转动和高阶振型的影响,则不能真实地反映结构的地震反应特性^[15-19]。文献[20]中采用了三质点剪切型计算模型,其中上部结构用双质点来等效,对等效模型应用振型分解反应谱法计算得到最大反应计算结果与时程分析法计算结构相近。文献[21]基于隔震结构的单质点、双质点和三质点计算模型,设定了隔震层特性参数,提出隔震结构的层间剪切力和层间变形预测计算方法。文献[7]基于上部结构周期、总基底剪力和顶点位移相等的等效准则给出了弯曲型和剪切型隔震结构三质点等效模型的计算公式^[22-23]。以上研究尚未给出针对不同变形特点隔震结构等效模型的计算公式。

1.1.1.2 高宽比限值的研究

隔震技术采用的橡胶隔震支座竖向抗拉能力较差,高层隔震建筑高宽比均较大,地震时隔震层将承受较大的倾覆弯矩,支座受拉进入屈服状态,从而导致结构整体发生倾覆破坏。对于高层隔震结构来说,高宽比限值的研究尤为重要。

目前,国内少数学者对隔震房屋抗倾覆稳定性和隔震结构高宽比限值进行了一些理论研究。例如,熊仲明,王清敏等(1998年)的《多层基础滑动房屋滑动抗倾覆稳定性判定》,给出了抗倾覆问题的关键参数和判定条件^[24]。李宏男,王苏岩等(1997年)的《采用基础摩擦隔震房屋高宽比限值的研究》,给出了基础摩擦隔震的高宽比限值[25]。李宏男、吴香香(2003年)的《橡胶垫隔震支座结构高宽比限值研究》、《竖向地震动对隔震结构高宽比限值的影响分析》给出了橡胶垫隔震支座结构

高宽比限值和竖向地震的影响^[26-27]。祁恺(2003)等人研究发现,当控制条件为支座不产生拉应力时,高宽比限值随隔震结构周期的增加而增加;当控制条件为支座压应力不超过容许值时,高宽比限值随隔震结构周期的增加而减小^[28]。王铁英应用均匀设计方法,给出了各类场地满足规范抗倾覆要求的结构高宽比限值^[29]。文献[30]中采用单质点模型,考虑竖向地震作用阐述了计算结构高宽比限值的简化方法。文献[31]基于保证隔震结构在强震中不倾覆的两个充分条件,推导了隔震结构高宽比限值的显式并给出了针对不同建筑类别、不同设防烈度、不同场地条件和不同隔震层阻尼比的高宽比限值。文献[32]提出了在边支座上添加竖向钢筋以提高隔震结构高宽比限值的构造措施,并从方案的构造、添加钢筋的工作状态以及对隔震效果的影响等方面论证了该措施的可行性。

应该说目前对由各种理论推导出的高宽比限值判定条件,尚缺乏更多的试验数据支持。研究得出的成果在得到试验论证后,补充到现行《抗震设计规范》中,以适于工程设计人员的操作。

1.1.1.3 设计方法研究

对隔震结构在地震反应下的设计,主要采用3种方法:时程分析法、底部剪力法和振型分解反应谱法。《建筑抗震设计规范》提出可采用剪切型结构模型分析地震反应,隔震层特性用其水平动刚度及等效阻尼比描述,并指出宜控制隔震结构不出现拉应力。对一高宽比较小的隔震结构体系可以得到理想的结果,但对高宽比较大的隔震结构体系,分析结果常常难以反应结构的真实工作状态。

时程分析法能计算出结构线性和非线性地震反应随时间的变化规律,但需要借助计算机程序进行计算,现在应用的非线性分析程序有SAP2000和隔震计算程序3D-BASIS-TABS1.1

等。日本学者曾采用三维结构分析程序,考虑隔震层压缩及拉伸刚度的差异,进行结构地震反应分析结果与试验结果吻合较好^[33]。

考虑到三维计算模型的复杂性及结构初步设计的实际需求,在3种设计方法中,底部剪力法和振型分解反应谱法显然更易于工程设计人员接受和使用,其概念清晰、计算简单。但对于高层隔震结构,因结构变形有多阶振型的参与,应用底部剪力法显然不合适;而采用振型分解反应谱法时,就需要确定反应计算需考虑振型数和计算模型^[34-35]。对这方面的研究还没有得到展开。

1.1.2 大高宽比高层隔震结构的试验研究

从已查到的文献上看,国内外对常规隔震建筑结构和桥梁结构模型进行了大量的振动台试验,以验证隔震后结构的减震效果,但对大高宽比隔震建筑领域,相关试验进行的较少。

国外 Kelly 和 Bueuke 等(1980年)进行了基础隔震房屋模型的地震模拟振动台试验,研究隔震结构可能发生的破坏形态。AL-Hussai 等(1994年)对摩擦基础隔震结构模型进行了振动台研究,猿田正明等(1999年)对轻量建筑物隔震结构进行了振动台试验研究^[36]。坂本功等(1999年)对2层木结构的隔震结构房屋进行了振动台试验,这是世界上首次对原型隔震结构进行的地震模拟振动台试验。

我国仅完成少量的隔震结构的试验研究。广州大学周福霖等(1996年,原华南建设学院西院)进行了采用基础隔震的5层混合结构体系的三维地震模拟振动台试验^[15],同济大学吕西林(1999年)和日本藤田公司合作完成了小高宽比的3层钢框架结构多向地震模拟振动台试验,试验对比了不同铅芯橡胶隔震支座的隔震效果^[37]。杨林等人对一基础隔震模型进行了软

着陆保护振动台模拟地震动试验,试验表明,软着陆隔震保护体系不仅保护了承载支座免遭大变形失稳破坏,同时还能提供摩擦阻尼^[38]。黄襄云等人对框架剪力墙结构隔震与非隔震模型的模拟地震振动台进行了对比试验,研究了隔震与非隔震结构在地震作用下的自振特性、阻尼比、地震反应特征、破坏形态和破坏机理^[39]。韩强、张俊平等人对桥梁隔震体系在多维地震作用下地震反应进行了研究,并与理论分析结果进行了对比^[40]。李加武等通过桥梁模型振动台试验,分析了阻尼、墩高、支撑剪切刚度对模型梁和桥墩减震性能的影响^[41]。

针对高层大高宽比隔震结构的试验,广州大学刘文光博士(2002年)与日本藤田建筑公司研究人员合作,完成了高宽比为5的5层钢框架的单向振动台试验^[42]。孟庆利针对目前隔震体系尚不能减小竖向地震反应的缺陷,研制了三维复合隔震装置,并进行了隔震体系的振动台试验和数值模拟分析^[43-44]。付伟庆等人完成了1:4比例,高宽比为5的隔震结构模型在多维地震输入下的振动台试验^[7]。王铁英等人针对大高宽比隔震结构设计了一种用于具有竖向耗能能力的钢铅组合耗能器,数值分析表明,考虑竖向地震作用时,该耗能器能够发挥耗能作用^[29]。

1.2 磁流变阻尼减震技术研究与应用现状

磁流变阻尼器构造简单、响应速度快,目前已在土木工程结构振动控制中被作为新型阻尼器得到大量研究和应用。在国外,美国学者 Dyke(1996)等人研究了用4个MR阻尼器控制结构地震反应的一座6层钢框架,限幅最优半主动控制结构的顶层绝对加速度同原结构相比减少62%,同被动控制结构相比减少了30%^[45]。Spencer和Dyke(1996)等人应用了36个MR阻

尼器对一座 20 层的钢框架结构进行控制,在 4 种不同地震波 (EI-Centro, Hachinohe, Kobe, Northridge) 的作用下,半主动控制明显减小了结构的地震反应,同原结构相比最大相对位移减少 21.6% ~ 55.8%,最大加速度减少 21.6% ~ 50.0%,层间侧移减少 36.4% ~ 55.0%,可见 MR 驱动器能有效地控制结构的动力反应^[46]。

近年来,MR 阻尼器和 LRB 支座联合组成智能隔震系统得到较多关注。采用单纯 LRB 隔震技术结构的隔震层,较之上部结构具有低刚度、高阻尼的特点,因此阻隔并耗散了大部分的地震能量,从而有效减少了结构物的地震损失。但由于传统被动隔震结构的隔震层一经确定其性能参数将无法改变,因而难以适应地震的强随机性^[47]。此外,如何解决被动隔震层位移过大而引起的失效问题也局限了这种结构体系的进一步发展。

另一方面,一些如医院、通讯中心等特定建筑,在震时其起到救护与通讯联络等重要作用。对于这些重要建筑,过大加速度反应引起的建筑物内物品散倒导致的次生破坏,同样会造成重大损失,影响震时的救援工作。纵观隔震技术的发展,其已从对整体结构安全性的保护向确保内部设施不损坏发展,这是对隔震技术更高的要求^[48]。

基于这些事实,国内外学者尝试将主动或半主动控制元件应用到传统被动隔震结构中以提高结构的抗震自适应性,这种振动控制方式被称为智能隔震体系 (smart isolated system)^[49-51]。这种体系所采用的阻尼装置能根据外部激励和结构响应的变化而实时调节控制参数,可以针对不同外部激励、不同地震强度水准和不同设防目标需要,提供更为有效的减震参数^[52]。世界上第一幢智能隔震建筑于 2000 年在日本建成^[53-54]。

应该说,智能隔震作为隔震技术的新发展,其在理论研究和

试验研究方面只是在近几年才初步展开,对其的应用更是很少,国外只有个别项目的应用,国内尚无应用。鉴于这种隔震技术优良的减震性能,对其研究也应深入展开。

1.3 基于性态设计方法的研究概况

抗震理论的发展,经历了从静力理论阶段、反应谱理论阶段,到动力理论阶段,而基于性态的抗震设计理论是抗震设计最新阶段。

基于性态的抗震工程(performance-based seismic engineering),最早是由美国加州结构工程师协会 VISION 2000 委员会提出的。他是从项目的提出开始,直到建筑寿命结束的全过程,它包括地震危险性分析、性态水平和性能目标选择、场地适应性决策、概念设计、初步设计、最终设计、设计可行性检查、设计重复检查、施工质量保证以及建筑物寿命期内的维护^[55-57]。每一步都是性态工程成功的关键,必须达到与选择的性态目标相适应的水平。

基于性态地震工程中的一个主要组成部分是基于性态的结构设计的抗震设计(performance-based seismic design)。目前世界各国采用的抗震设计理论均是多级设计的思想,例如我国抗震规范采用的“小震不坏、中震可修、大震不倒”。这种设计思想是以生命安全为单一设防目标的,没有考虑到非结构构件的不破坏,更没有考虑到减少地震破坏造成的经济损失和对社会的影响,只是保证震时主体结构的不倒塌^[58-60]。近年来的若干次大地震震害损失告诉我们,震时人员伤亡数量有所减少,但其造成的经济损失却异常巨大。1995 年日本阪神地震中,死亡 5 500 多人,经济损失达到 1 000 亿美元,而震后恢复重建工作耗资又近 1 000 亿美元!因此,基于性态抗震设计的研究和推广

越来越得到重视。

国外对基于性能设计方法研究应用的较早。上世纪 90 年代初,美国加州工程师协会 (SEAOC)、联邦紧急事务管理局 (FEMA) 和美国应用技术理事会 (ATC) 即对基于性能抗震设计展开系列研究,并先后提出 Vision2000^[61]、FEMA273/274^[62] 和 ATC-40^[63]。Vision 2000 根据建筑物的重要性及建议的设计地震水平,提出了不同的性能目标。对每一个性能目标,给出了大量的表去描述不同的结构构件和体系、非结构构件、机/电/管道系统和建筑内设施等的损伤状态,但描述大多是定性的,难点在于如何将这些损伤状态的描述与分析过程中可得到的工程需求参数联系起来^[64-65]。FEMA 273/274 提出了结构和非结构构件的性能水平并给出了大量定量的标准,对各类结构中大多数的重要构件,根据构件的受力特点,区分变形控制(延性行为)和力控制(非延性行为)两类,分别在构件层上给出了性能的可接受水准^[66-67]。FEMA 273/274 的还给出了较为详细的规定,考虑到非线性动力分析方法在短期内不可能被完全采用,因此更强调采用简化方法,特别是非线性静力分析,即静力推覆分析。ATC-40 采用能力谱法确定了目标位移。

相对与国外对性能设计理论的研究,我国在该领域研究尚处于发展阶段。1999 年 10 月,在北京召开了“International Seminar on New Seismic Design Methodologies for Tall Buildings”,与会学者对基于性能的结构抗震设计进行了广泛的交流和讨论。近几年来,在国家自然科学基金委员会资助的重大项目中,“大型复杂结构的关键科学问题及设计理论”中设立子专题“基于抗震性能的设防标准”,对基于性能抗震设计的研究内容展开立项研究。国内有关高校和研究机构在基于性能的抗震设计方面也取得了重要的研究成果。清华大学、哈尔滨工业大学、大连理工大学、同济大学及北方交通大学的许多学者在“基于可靠