

Performance of Seismic Isolation and Energy
Dissipation Hardware

桥梁地震保护系统

M. C. Constantinou, A. S. Whittaker, Y. Kalpakidis, D. M. Fenz and G. P. Warn 著

陈永祁 马良喆 编译及校对



中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

内 容 简 介

美国从二十多年前开始,“结构保护系统”从构思到研究、试验,再到工程试用,给我们传统的地震工程领域带来了强大的活力。20 世纪 80 年代末,从“被动”到“主动”再到“半主动”的地震保护系统都有了很大的发展。经过了两次产品的原型测试后,被工程师们认可的被动结构保护系统开始得到了广泛的工程应用。地震后破坏和有地震风险地区的桥梁、建筑,纷纷按计算的需要安置上了结构保护系统——橡胶支座、摩擦摆、各种阻尼器和防屈曲支撑。

在经历二十多年的工程应用后,大家认为,需要有个总结归纳,以工程和理论的眼光评价这些经过百花齐放出来的各种结构保护系统的优缺点和可用性。美国联邦高速公路管理局基金会、加州交通管理局和交通部联合投资委托美国国家地震研究中心(MCEER)开展了这项工作,由 Constantinou 教授及多位专家把这二十多年的经验教训从理论到工程实用总结成这篇报告。

为了更好地介绍这些新成果,我们把该报告翻译成中文,供大家学习、阅读。

北京市版权局著作权合同登记号:01-2012-3852

图书在版编目(CIP)数据

桥梁地震保护系统/(美)康斯坦丁诺(Constantinou, M. C.)等著;陈永祁,马良喆译. —北京:中国铁道出版社,2012.6
书名原文:Performance of Seismic Isolation Hardware under Service and Seismic Loading
ISBN 978-7-113-14871-3

I. ①桥… II. ①康… ②陈… ③马… III. ①桥梁工程—抗震设计 IV. ①U442.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 124947 号

书 名:桥梁地震保护系统

作 者: M. C. Constantinou, A. S. Whittaker, Y. Kalpakidis, D. M. Fenz and G. P. Warn 著
陈永祁 马良喆 编译及校对

策 划:许士杰 陈小刚

责任编辑:曹艳芳 陈小刚 电话:010-51873193

封面设计:乔 倩

责任校对:王 杰

责任印制:郭向伟

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:北京铭成印刷有限公司

版 次:2012 年 6 月第 1 版 2012 年 6 月第 1 次印刷

开 本:787 mm × 1092 mm 1/16 印张:20 字数:494 千

书 号:ISBN 978-7-113-14871-3

定 价:70.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社读者服务部联系调换。

电 话:市电(010)51873170,路电(021)73170(发行部)

打击盗版举报电话:市电(010)63549504,路电(021)73187

Notice

This report was originally published in English on August 27, 2007 by the Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research (MCEER) as part of its technical report series. It was prepared by the University at Buffalo, State University of New York as a result of research sponsored by MCEER through a contract from the Federal Highway Administration and the State of California Department of Transportation. Neither MCEER, associates of MCEER, its sponsors, the University at Buffalo, State University of New York, nor any person acting on their behalf;

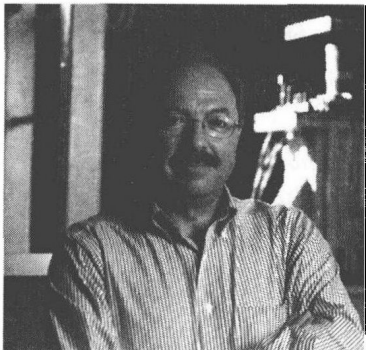
1. Makes any warranty, express or implied, with respect to the use of any information, apparatus, method, or process disclosed in this report or that such use may not infringe upon privately owned rights;

2. Assumes any liabilities of whatsoever kind with respect to the use of, or the damage resulting from the use of, any information, apparatus, method, or process disclosed in this report.

Any opinions, findings, and conclusions or recommendations expressed in this publication are those of the author(s) and do not necessarily reflect the views of MCEER, the Federal Highway Administration, the California Department of Transportation or any other sponsors.

About the Author

康斯坦丁诺 (MICHAEL. C. Constantinou)



Appointments

- *Chair, Dept. of Civil, Structural and Environmental Eng. , Univ. at Buffalo, 1999-2005.*
- *Co-Director, Structural Engineering and Earthquake Simulation Laboratory, University at Buffalo, 1997-2004.*
- *Professor, Dept. of Civil, Structural and Environmental Eng. , Univ. at Buffalo 1994-present.*
- *Assoc. Prof. , Dept. of Civil, Structural and Environmental Eng. , Univ. at Buffalo, 1989-1994.*
- *Asst. Prof. , Dept. of Civil, Structural and Environmental Eng. , Univ. at Buffalo, 1987-1989.*
- *Asst. Prof. , Dept. of Civil and Architectural Eng. , Drexel Univ. , 1984-1987.*

Awards

- *Presidential Young Investigator Award, President R. Reagan, 1988.*
- *Best Paper Award, 4th World Congress on Joints and Bearings, ACI, 1991.*
- *Design Award for Engineering, Technology and Innovation, General Services Administration (for design of US Court of Appeals Building, San Francisco) , 1994.*
- *Diamond Award, New York Association of Consulting Engineers (for design of Ataturk International Airport Terminal, Turkey) , 2002.*
- *Grand Award, American Council of Engineering Companies (for design of Ataturk International Airport Terminal, Turkey) , 2002.*
- *Chancellor's Award for Excellence in Scholarship and Creative Activity, SUNY, 2004.*
- *C. Pankow Award for Innovation, Civil Engineering Research Foundation (for design of Torre Mayor Building, Mexico-on behalf of University at Buffalo) , 2005.*

Professional Activities

- *Chair, Subcommittee 12 and member of Provisions Update Committee, Development of 2003 NEHRP Recommended Provisions for the Development of Seismic Regulations for New Buildings, Building Seismic Safety Council, National Earthquake Hazard Reduction Program, 2001-present.*
- *Member, Subcommittee 12 and Provisions Update Committee, Development of 1994, 1997 and 2000 NEHRP Recommended Provisions for the Development of Seismic Regulations for New Buildings, Building Seismic Safety Council, National Earthquake Hazard Reduction Program, 1993-2000.*
- *Member, New Technologies Team, Project ATC-33 for Preparation of National Guidelines for Seismic Rehabilitation of Buildings, Applied Technology Council, 1993-1997. Development of FEMA Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings.*
- *Member, Seismic Isolation Committee, American Society of Civil Engineers, 1995-present.*
- *Member, T-3 Seismic Design Task Group, AASHTO Subcommittee on Bridges and Structures, Development of the 1999 AASHTO Guide Specifications for Seismic Isolation Design, 1995-2000.*
- *Member, ASCE 7-Earthquake Loads Task Committee, Development of ASCE Load Standard ASCE 7-02 for year 2002 and ASCE 7-05 for year 2005, 2000-present.*
- *Member, Project Management Committee, FEMA Project ATC-63, 2005-today.*
- *Member, Subcommittee 2, Development of 2008 NEHRP Recommended Provisions for the Development of Seismic Regulations for New Buildings, Building Seismic Safety Council, National Earthquake Hazard Reduction Program, 2006-today.*
- *Member (by appointment) of bi-national, 36-member jury for selection of new Peace Bridge design, Buffalo, NY, August to December 2005.*

Consultant on performance-based engineering and on analysis and design of seismic isolation systems, seismic energy dissipation systems and vibration control systems, 1984-today. Consulted on the following projects: Mesologgi Hospital, Greece; Corinth Canal Bridges, Greece; LNG Tanks, Greece; U. S. Court of Appeals building, San Francisco; San Bernardino County Medical Center Replacement Project; Queensboro Bridge, NY; ISP Chemicals Tanks, Kentucky; University Bridge, Seattle; San Francisco Airport International Terminal; Corinth Canal Railway Bridge, Greece; Rion-Antirion Cable-Stayed Bridges, Greece; Caltrans SRMD Test Facility; JFK Roadways, NY; Beijing Railway Station, China; Hearst Mining Building, Berkeley; Rion-Antirion Approach Viaduct, Greece; Santa Clara Police Facility, CA; Yerba Buena Tower, San Francisco; 196th Street Bridge, Seattle; Woodrow-Wilson Bridge, Washington, D. C. ; Ataturk International Airport Terminal, Istanbul, Turkey; Pasadena City Hall, CA; Ingram Micro Building, Santa Ana, CA; AboveNet Building, San Francisco, CA; Univ. Avenue Building, Palo Alto, CA; Bolu Viaduct, Turkey; Museum of the Acropolis, Greece; SouthBay Tower, San Jose, CA; Onassis Center, Greece; CYTA Central Building, Cyprus; Shemya Radar Facility, Alaska; Ashley Phosphate and US 52 Bridges, Charleston, SC; Kourion Structures, Cyprus; Centre Administratif Pictet-Acacias, Switzerland; Orlan Oil and Gas Platform (ExxonMobil), Russia; Piltun Oil and Gas Platform (Shell), Russia; Lunskeye Oil and Gas Platform (Shell), Russia; Willamette River Bridge, Oregon; New de Young Museum, San Francisco, CA; Oakland Cathedral, Oakland, CA,

Baha'i Temple, Chile; Tarabya Hotel, Turkey; Nordstrom South Coast Plaza, Costa Mesa, CA; LNG Tanks, Long Beach, CA; CYTA Building Retrofit Program, Cyprus; George Washington Bridge, WA; Mills Peninsula Hospital, Burlingame, CA; Statue of Hermes, Greece; CPMC Hospital, San Francisco, CA; Washington Hospital, Fremont, CA; Olympic Committee Building, Cyprus; Dafni Railway Bridge, Greece; Erzurum Hospital, Turkey; 11th Avenue Bridge, NYC; Limassol Public Library, Cyprus; Arkuntun-Dagi Oil and Gas Platform (ExxonMobil), Russia; Riviere des Prairies Bridge, Montreal, Canada; Jin Nam 3rd Bridge, Korea; New Yang Soo Grand Bridge, Korea; Gangdong Grand Bridge, Korea; University Building, Cyprus; Heyder Aliyev Cultural Center, Baku, Azerbaijan; San Francisco General Hospital, San Francisco, CA; Sabiha Gokcen Airport Terminal, Istanbul, Turkey; Throgs Neck Bridge, NY.

- **Contributions.** Credited with major contributions in the development and implementation of sliding seismic isolation systems, viscous seismic energy dissipation systems and the toggle-brace and scissor-jack damping systems (60 citations in newspapers and magazines).

- **Publications.** Author or co-author of 200 books, book chapters, refereed journal papers, conference papers and reports.

- **Patents.** Highly Effective Seismic Energy Dissipation Apparatus, US Patent 6 438 905.

- **Research Funding.** Recipient of \$3 million and co-recipient of \$20.2 million research funds.

- **Thesis Advisement.** Visiting and Post-doctoral Fellows: 14, Completed Ph. D. Degrees: 15 (5 in faculty positions), Completed M. S. Degrees: 21, Current Ph. D. students: 1, Current M. S. students: 0.

康斯坦丁诺 (*MICHAEL C. Constantinou*) 教授写给
中国读者的话

The May 2008 Wenchuan earthquake resulted in thousands of casualties, numerous collapsed and damaged buildings, bridges and industrial structures, and had an enormous impact on the Chinese economy. This disastrous earthquake demonstrated the pressing need for performance-based engineering that would have ensured collapse prevention, life safety and even better performance, such as immediate occupancy and operational performance levels. Such higher performance levels are important and most often necessary for critical structures such as hospitals, schools, essential bridges, power stations, essential storage facilities, hazardous facilities, important government structures, emergency centers, museums and structures of historical or architectural significance.

Seismic protective systems, consisting of seismic isolation and damping systems, represent the only practical structural systems that offer to the Engineer the possibility of achieving performance levels of immediate occupancy and operational levels. To achieve these performance levels requires proper application of the technologies of seismic isolation and/or damping systems, proper interpretation of the seismic hazard and a good measure of conservatism and respect for the power of nature.

This document that is translated herein to the Chinese language collects and documents the state-of-the-art in seismic protective system hardware behavior, and seismic protective system design and assessment of adequacy. The authors hope that its proper use in the analysis and design of structures with seismic protective systems will contribute to the reduction of damage in earthquakes and the preservation of life. The authors are also very pleased with the translation of this document to Chinese as in doing so the document has the potential to affect many people in the most populous country in the world.

Michael C. Constantinou

September 6, 2008

致 谢

本报告所涉及的工作得到加州交通管理局 65A0174 项目和由联邦高速公路管理局设立的基金支持的多学科地震工程研究中心高速公路项目 TEA-21、EXT-3A 和 EXT-3C 的资金支持。在此表示衷心的感谢。

笔者对加利福尼亚州交通部的 Tim Delis 博士和 Allaoua Kartoum 博士在本报告和桥梁隔震相关资料的准备过程中提供的指导表示感谢。同时也要感谢动力隔震系统公司的 Amarnath Kasalanati 博士和地震保护系统公司的 Anoop Mokha 博士在隔震支座方面提供的相关信息和在隔震支座设计步骤上的协助。

译者简介

陈永祁 1966年毕业于北京工业大学土木建筑系结构专业,从事建筑结构与施工工作。1976年唐山地震后,考入中国建筑科学研究院工程抗震研究所学习,从师龚思礼、刘锡荟。1981年毕业获得硕士学位后在中国建筑科学研究院抗震所工作。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年获得工程博士学位。毕业后在美国设计核电站公司(Sargent & Lundy)研究和发展部门工作,任高级工程师。

1998年应中国建筑科学研究院抗震所原副所长韦承基邀请参与并完成北京火车站抗震加固改造、阻尼器工程的计算,并首次将美国Taylor公司的液体黏滞阻尼器引到国内结构工程中应用。

2005年回国创办北京奇太振控科技发展有限公司,推广和发展世界最先进的液体黏滞阻尼器和摩擦摆隔震支座等结构保护系统。

马良喆 1973年9月生于吉林长春。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;曾先后就职于北京市建筑工程研究院检测所、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,负责耗能减振技术的应用开发,陆续参与多项高层建筑和大跨度桥梁结构的抗震抗风计算分析工作,以及现场工作。

编译者前言

在中国和美国地震工程领域几十年的学习和工作中,译者体会到从工程抗震的角度出发,目前,最有实用前景的是结构保护系统,同时也就希望从工程可靠性的角度去介绍和讨论结构保护系统的理论、试验、地震中的性能表现和工程应用中的一些问题。美国康斯坦丁诺(MICHAEL C. Constantinou)教授是这个领域里的先驱,做过大量结构保护系统卓有成效的试验,参加或领导过美国规范和指导文件的撰写工作:

ATC-63(Applied Technology Council)(2005年~现在);

NEHRP(National Earthquake Hazards Reduction Program)(1993年~现在);

FEMA(Federal Emergency Management Agency)(1993年~1997年);

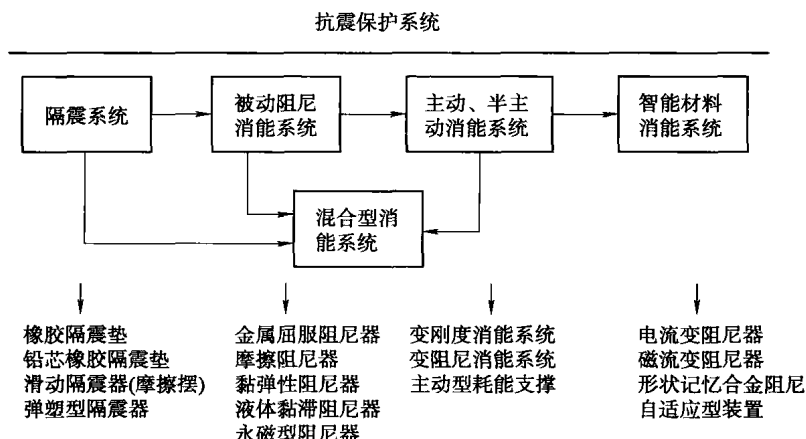
ASCE(Seismic Isolation Committee, American Society of Civil Engineers)(1995年~现在);

ASCE-7 规范(Earthquake Loads Task Committee, American Society of Civil Engineers)(1995年~现在);

AASHTO LRFD Bridge Construction Specifications(1995年~2000年)。

更为可贵的是他参加过大量世界上重要的结构保护系统的工程咨询和指导工作,在美国重要期刊上发表过多达60篇学术论文和专著。学习和了解他的文章和想法无疑对我国地震工程的发展会有很大帮助。

这个在美国从20多年前开始构思到研究试验再到工程试用的“结构保护系统”给我们传统的工程领域带来了强大的活力。20世纪80年代末,无论“被动保护系统”和“主动保护系统”以及后来诞生的“半主动保护系统”都有了很大的发展。在我们土木工程界,这一理论从引入开始经历了一个“百花齐放”的发展阶段。在这个阶段的最初几年内,诞生了很多新的想法,并有很多新的“装置”被试用。专业工程师喜欢用下表来说明这一阶段的发展。



经过20多年的发展,目前在美国应用领域,公认的成功技术和产品有:

基础隔震技术,用一个允许一定程度运动并能耗散地震能量的隔震垫将下部结构和上部

结构分隔开来,从而有效地隔离并减弱了地面运动。最早发展起来的铅芯橡胶垫技术得到了成功应用,且后来提出的金属摆动摩擦支座技术显示出更快的发展。

液体黏滞阻尼器的耗能技术,一种看上去很像车辆减振器的活塞筒状装置,但其内设硅油,通过活塞在黏滞液体内的往复运动起到耗散地震能量的作用,从而起到保护结构的作用。

防屈曲耗能支撑,由日本 Nippon 公司研制出的金属屈曲约束耗能支撑(UBB)是在结构工程师们早已熟悉的某一构件的基础上改进而来的产品。

对于广大工程师而言,脱离我们早已熟悉的传统钢结构、钢筋混凝土结构,甚至木结构,采用我们并不了解的机械、航空等其他领域已成功应用的产品,并将其用在我们赖以生存的、百年大计的建筑物和桥梁上难免会产生各种问题,例如:

- 在我们几乎不用很多维护的传统结构上,加上的这些保护装置是否要我们像维护建筑中空调或电梯一样去常年维护它?要不要定期检查和更换?
- 这些装置是否能像我们结构的其他构件一样,安全可靠地使用几十年,甚至上百年?
- 这些保护装置,是否能和我们传统的结构相匹配、适用?

这些问题对我们要使用结构保护系统的工程师说来,无疑是至关重要的。我想,从康斯坦丁诺的文章和想法中,我们不难看出他的出发点。我们在今后出版的书中,也将介绍和讨论这些问题。本书中的研究课题,无疑把结构保护系统的发展进程,又向前推进了一步。

感谢刘锡荟老师对我们翻译工作的部分指导和帮助。本书参加翻译和校对的还有王静、李小芳等人,特此表示感谢。

目 录

第1章 引 言	1
第2章 隔震系统和阻尼系统的基本原理	2
2.1 传统的抗震桥梁结构	2
2.2 基于性能的地震工程	2
2.3 结构抗震保护系统	6
2.4 隔震装置和系统	8
2.5 能量耗散装置和系统	10
2.6 隔震和阻尼器系统的应用	13
第3章 隔震桥梁的分析方法	14
3.1 引 言	14
3.2 对于高阻尼反应谱的修正	14
3.3 带有黏滞阻尼装置的隔震系统的最大速度和最大力	15
3.4 自复位能力	18
3.5 反应修正系数	20
3.6 单自由度的分析方法	21
3.7 多自由度的分析方法	23
3.8 时程反应分析方法	23
第4章 滑动界面内的摩擦	24
4.1 引 言	24
4.2 摩 擦 力	24
4.3 摩擦机理	24
4.4 静摩擦力和滑动摩擦力	26
4.5 黏滑运动	26
4.6 聚四氟乙烯与抛光不锈钢间的摩擦	29
4.7 双金属滑动界面内的摩擦	35
4.8 摩擦生热	36
4.9 施加过润滑剂的滑动界面的摩擦	57
4.10 滑动支座的老化	57
4.11 小 结	60
第5章 PTFE 与抛光不锈钢界面的摩擦特性	61
5.1 引 言	61
5.2 加载时间对静摩擦力的影响	62
5.3 表面压力和滑动速度的影响	65

5.4	温度效应·····	72
5.5	累积运动的影响·····	78
5.6	不锈钢表面粗糙度的影响·····	83
5.7	不锈钢腐蚀的影响·····	85
5.8	污染效应·····	88
5.9	润滑效应·····	89
5.10	磨损效应·····	91
5.11	镀铬碳钢的滑动表面·····	94
5.12	小 结·····	95
第6章	滑动支座的分析与设计·····	96
6.1	引 言·····	96
6.2	滑动支座的设计·····	98
6.3	双凹面摩擦摆支座的分析·····	99
6.4	滑动支座终端板的设计步骤·····	116
第7章	人造橡胶支座的力学性能·····	120
7.1	引 言·····	120
7.2	硫 化·····	120
7.3	天然橡胶的基本力学性能·····	120
7.4	人造橡胶支座的构造和制作·····	122
7.5	天然橡胶支座的基本力学性能·····	123
7.6	人造橡胶支座的发热·····	129
7.7	温度对力学性能的影响·····	130
7.8	人造橡胶支座的扰动和恢复·····	132
7.9	人造橡胶支座的老化·····	135
第8章	铅芯橡胶支座的力学性能·····	139
8.1	引 言·····	139
8.2	铅芯橡胶支座的构造·····	139
8.3	铅芯橡胶支座的力学性能·····	140
8.4	铅芯橡胶支座的老化·····	152
8.5	关于铅芯橡胶支座力学性能的荷载时程效应·····	152
8.6	速度对铅芯橡胶支座特征力的影响·····	158
8.7	铅芯橡胶支座的松弛·····	159
8.8	铅芯橡胶支座的受热·····	161
第9章	人造橡胶支座的分析与设计·····	188
9.1	引 言·····	188
9.2	人造橡胶支座的受压分析·····	188
9.3	人造橡胶支座的转动分析·····	192
9.4	人造橡胶支座的剪切分析·····	193
9.5	橡胶支座的扭转·····	193
9.6	多层橡胶支座的分析·····	194

9.7	人造橡胶支座的稳定性	195
9.8	侧向位移引起高度的减少以及对竖向和侧向刚度的影响	198
9.9	受拉时的性能	201
9.10	钢板的分析和设计	203
9.11	橡胶支座的安全性评价	205
9.12	橡胶支座端板的设计	209
第 10 章	被动阻尼装置的力学性能	217
10.1	引言	217
10.2	被动耗能装置	217
10.3	液体黏滞阻尼器的构造	218
10.4	液体黏滞阻尼器的力学性能	220
10.5	温度增高对液体黏滞阻尼器响应的影响	221
10.6	锁定装置	223
10.7	具有恢复力和阻尼的装置	224
10.8	液体黏滞阻尼器的使用寿命	226
第 11 章	阻尼系统的布置	227
11.1	引言	227
11.2	直线型支撑和对角型支撑布置	227
11.3	其他的阻尼布置	228
第 12 章	系统特性的修正系数	232
12.1	引言	232
12.2	系统特性修正系数	232
12.3	系统调整系数	233
12.4	滑移支座的特性修正系数	234
12.5	弹性隔震系统的系统特性修正	236
第 13 章	隔震支座和阻尼元件的测试	238
13.1	引言	238
13.2	使用荷载下的测试	238
13.3	罕遇地震条件下的测试	245
13.4	隔震支座和阻尼器的原型测试	246
13.5	隔震支座和阻尼器的产品(质量控制)测试	253
第 14 章	结 论	254
参考文献		255
附录 A	三层摩擦摆隔震支座在 SAP2000 中的应用	267
A.1	引言	267
A.2	三层摩擦摆隔震支座描述	267
A.3	三层摩擦摆隔震支座在 SAP2000 中的建模	270
A.4	隔震支座的 $P-\Delta$ 效应	278
A.5	并联模型的精度验证	279
A.6	阻尼效应的研究	287

A.7	直接积分法	293
A.8	在 SAP2000 中支座 $P-\Delta$ 效应的模拟	294
A.9	结 论	296
附录 B	模型参数的计算	298
B.1	串联模型	298
B.2	并联模型	299

第1章 引言

许多研究表明,隔震系统及附加阻尼装置可以减轻甚至消除强震作用下结构部件、非结构部件以及整个系统的损坏。Naeim 和 Kelly (1999) 指出,正是因为恰当地使用了这些保护装置,结构的性能才更为良好。而对这些保护装置的恰当使用必须包括以下几点:对设计地震强度的适当考虑(为隔震支座提供足够的位移能力)、对这些装置的力学性能以及对这些力学性能随时间的变化情况有一个完全的了解、合理的响应分析方法以及考虑到足够的细节问题,从而保证这些保护装置具有它们设计时所预想的功能。

仅有少数的隔震结构经受过大地震的考验。Stewart 等人 (1999), Nagarajaiah 和 Sun (2000) 和 Kani 等人 (2006) 记录过隔震结构的良好性能表现,同时 Stewart 认为隔震结构的实际响应与设计计算响应存在或多或少的差异,然而也有两个失效的案例:(1) 1999 年 Ducez 大地震中 Bolu 高架桥,因为结构实际位移显著地超过地震隔震支座的位移极限而失效 (Roussis 等, 2003); (2) 在 1993 年 Kushiro-Oki 地震中由于低温条件下隔震支座硬化导致了某桥桥墩的超载而失效 (Sato 等, 1994)。

大多数针对地震保护系统实用性的研究都是基于对隔震支座和耗能装置力学性能的最佳估计,而没有考虑装置使用期内的老化、加载历史和周围环境对其力学性能的影响。而这些不定因素会对结构保护系统的使用效果带来消极的影响甚至使其失去保护效果。

20 世纪 90 年代中期, Constantinou 等 (1999) 通过收集和总结数据资料对温度、加载历史以及老化对所选隔震支座力学性能的影响进行了研究。该研究提出一套考虑力学性能的变化效应的分析方法——这些方法被随后编制的一些关于隔震结构设计的规范条文采纳,包括 AASHTO 隔震设计指导规范 (AASHTO, 1999), ASCE-7-05 (ASCE, 2005) 以及 EN1998 (European, 2005)。

本报告在 1999 年报告的基础上对相关信息进行了更新,包括:温度、加载历史和老化对隔震支座力学性能的影响及对隔震结构响应的影响。同时对现行的保护系统的设备、分析及设计方法进行了总结。另外,本文试图对隔震支座和阻尼器的热效应、加载以及其老化情况进行一个科学的解释,从而可以预测整个使用周期内隔震结构的响应——而这种预测可依靠试验和观察来证实。

第2章 隔震系统和阻尼系统的基本原理

2.1 传统的抗震桥梁结构

按传统方法设计建造的抗震桥梁往往依靠特定桥墩和盖梁等部件的非弹性行为来消耗能量。

对于单弯矩构件(图2-1),以及锤头状的桥墩和盖梁的构件(图2-2)来说,非弹性行为应该出现在盖梁下侧的桥柱或者是在桥墩的底部紧靠地基之上的地方。非弹性作用常常引起大规模的破坏并且难以维修,更重要的是,结构上的损坏通常会导致桥梁的关闭,随之带来的是直接和间接的经济损失。



图2-1 钢筋混凝土单弯矩构件

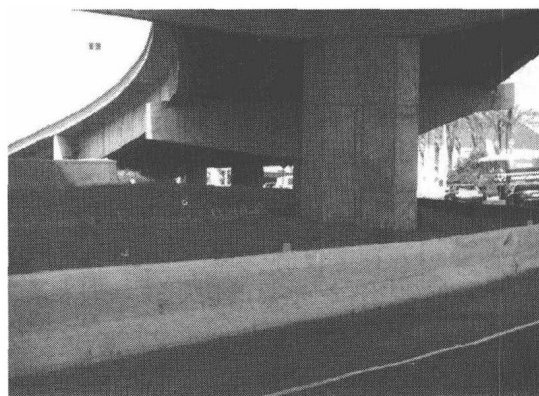


图2-2 钢筋混凝土桥墩和盖梁的构造

传统的桥梁在抗震分析和设计时采用基于弹性力的程序。该弹性力满足弹性反应谱和一个大于1.0的反应修正系数 R 的规定。其反应修正系数间接考虑到抗侧力系统中的强度、延性以及超静定等因素的影响。通过分析,确定桥墩、横梁和纵梁的尺寸。同时为了使桥梁在达到很大的非弹性变形时不倒塌,在设计中增加了一些规范细则和构造技术(例如:钢筋混凝土柱中箍筋间距)。然而,在传统的桥梁分析中,并没有进行变形能力的详细计算,也没有通过计算得出设计地震中所预计的破坏程度。

2.2 基于性能的地震工程

2.2.1 基于性能的地震工程第一代工具

从20世纪20年代末期发展起来的美国桥梁以及建筑设计规范中,包含一些传统的抗震设计条文细则。由于这些细则是为了获得某种特定的性能表现,即避免倒塌以及保护生命安全等,它们可以视为基于性能表现设计的雏形。制定建筑规范的工程师们希望采用这些条文设计的建