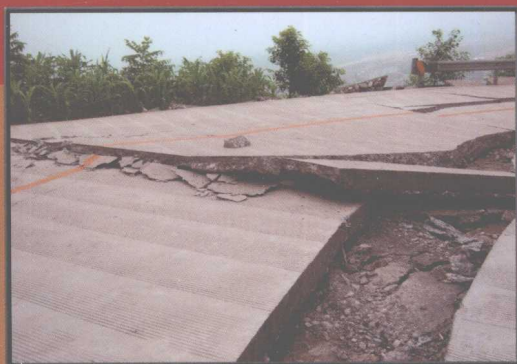
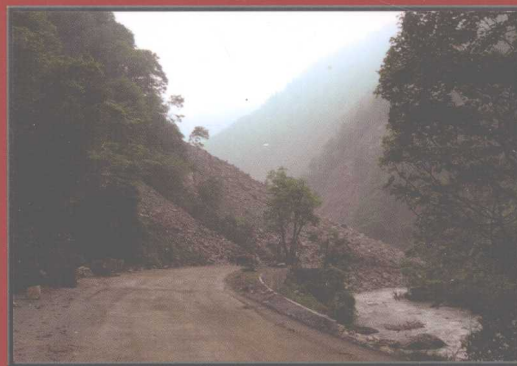
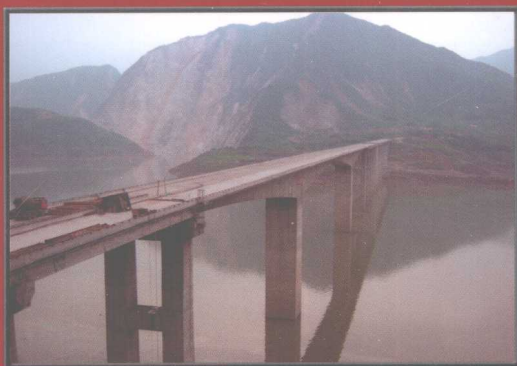


西部交通建设科技项目资助  
国家自然科学基金项目资助



Gonglu Jiegouwu  
Kangzhen Jiagu  
Gaizao Shouce

# 公路结构物 抗震加固改造手册



人民交通出版社  
China Communications Press

U448.14-62

BKE

西部交通建设科技项目资助 V.1  
国家自然科学基金项目资助

Gonglu Jiegouwu Kangzhen Jiagu Gaizao Shouce

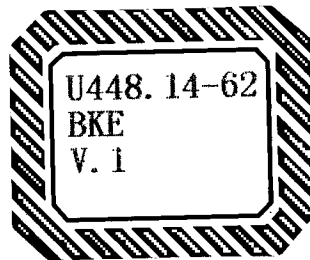
# 公路结构物抗震加固改造手册

上册(第一部分):桥梁

编著: Ian Buckle, Ian Friedland, John Mander, Geoffrey Martin,  
Richard Nutt and Maurice Power

译校: 王克海 李 茜 翟东武 韦 韩  
姜震宇 张 悦 杨江芹 莫勋涛

审校: W. Phillip Yen(颜文晖)  
张劲泉 孙永红 朱 晞



人民交通出版社

## 内 容 提 要

该书详细介绍了美国各州最流行的公路结构物在地震作用下结构易损性的评估方法,以及改进结构性能的加固改造措施。该书的第一部分着重于公路桥梁,并替换联邦公路局于1995年出版的报告(FHWA-RD-94-052)《公路桥梁地震加固手册》。该书的第二部分对公路其它结构物(包括:支挡结构,边坡,隧道,涵洞和道路等)的评估和抗震加固或改造提出了详细的方法。

北京市版权局著作权合同登记号 图资:01-2008-3560号

Seismic Retrofitting Manual for Highway Structures

Part 1—Bridges

Publication No. FHWA-RD-04-XXX January 2006

Seismic Retrofitting Manual for Highway Structures

Part 2—Retaining Structures, Slopes, Tunnels, Culverts and Roadways

Publication No. FHWA-RD-04-XXX August 2004

### 图书在版编目(CIP)数据

公路结构物抗震加固改造手册 / (美)颜文晖著;王克海等译. —北京:人民交通出版社,2008.8  
ISBN 978-7-114-07281-9

I. 公… II. ①颜…②王… III. 公路桥-桥梁结构:抗震结构-加固-技术手册 IV. U448.141-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第105699号

书 名:公路结构物抗震加固改造手册(上册(第一部分):桥梁)  
著 者: Ian Buckle Ian Friedland等编著 王克海 李 茜等译校  
责任编辑: 谢仁物  
出版发行: 人民交通出版社  
地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号  
网 址: <http://www.ccpres.com.cn>  
销售电话: (010)59757969,59757973  
总 经 销: 北京中交盛世书刊有限公司  
经 销: 各地新华书店  
印 刷: 北京密东印刷有限公司  
开 本: 880×1230 1/16  
印 张: 23  
字 数: 510千  
版 次: 2008年7月 第1版  
印 次: 2008年7月 第1次印刷  
书 号: ISBN 978-7-114-07281-9  
印 数: 0001—3000册  
定 价: 128.00元(上下两册)

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

## 译者序

《公路结构物抗震加固改造手册》分上、下两册,上册(第一部分)是桥梁抗震加固手册,下册(第二部分)是支挡结构、边坡、隧道、涵洞和道路抗震加固改造手册。

在美国,1971年南加州发生 San Fernando 地震后,首次提出对桥梁进行抗震加固。1987年的 Whittier Narrows 地震,又一次唤起了人们对桥梁墩柱抗震加固的新一轮兴趣。1989年的 Loma Prieta 地震,人们认识到早期的限位装置设计是不充分的。从 Loma Prieta 地震以来,在 California 州对大量的桥梁进行全面的抗震加固工作。起初人们将抗震加固的精力集中在大量单柱墩的桥梁,当时人们认为这些桥梁是最容易倒塌的。然而,在 1994 年的 Northridge 地震中,很多多柱墩桥梁也倒塌或严重破坏,所以随后这种多柱墩桥梁也纳入到 Caltrans 的抗震加固计划中。

在 1971 年 San Fernando 地震后不久,美国联邦公路局(FHWA)也成为桥梁抗震加固研究的主要资助者,包括既有桥梁加固的研究。一项早期的关于桥梁抗震加固的项目由 Illinois 技术研究院实施(Robinson et al., 1979)。第一部关于公路桥梁抗震加固的指南由 FHWA 于 1981 年以研究报告的形式《公路桥梁抗震设计指南(FHWA-RD-81-081)》出版发行。随后 1983 年,由 FHWA 出版了《公路桥梁抗震加固指南(FHWA-RD-83-007, ATC, 1983)》,它包括了供全国使用的推荐意见,该指南除提供了正式的筛选评估方法外,还介绍了在当时实践中很多情况下尚未采用的抗震加固概念。除伸缩缝加固外,还针对桥梁其他构件或部位,包括桥梁墩柱、桥台和承台提出抗震加固的概念。几年后,这种桥梁抗震加固的许多概念得到发展、细化,并提炼成为当今常用的抗震加固方法。这些方法和技术也包括 FHWA 在 1987 年出版的《抗震设计和加固手册中(FHWA-IP-87-6)》中。

自 1992 年以来,为了提升国家的桥梁抗震加固技术, FHWA 一直在资助一项多年研究计划。在这项工作的带动下,成立了国家地震工程研究中心(NCEER),后来成为地震工程多学科研究中心(MCEER)。这个项目的第一项成果是 1995 年出版了联邦公路局的《公路桥梁抗震加固手册》(FHWA-RD-94-052, FHWA, 1995)。

这个修订版反映了从 1983 年以来桥梁抗震加固实践的进步。这个计划项目的其它成果包括:改进了抗震限位器的设计方法(Randall et al., 1999; DesRoches and Fenves, 1998);改善了旧钢桥支座抗震性能的方法(Mander et al., 1998a);改进了钢筋混凝土墩柱设计和加固的方法(Dutta et al., 1999);改进了对多柱墩钢筋混凝土结构的加固方法(Mander et al., 1996a and b);更正确的理解了用传统支座和隔震支座进行抗震加固的性能(Wendichansky et al., 1998)。在本手册准备出版的过程中,这个计划项目达到顶点,它代表的不仅包括了联邦公路局在多学科研究中心的研究成果,也包括了整个美国和世界的研究成果。

经过近一年的紧张工作,《公路结构物抗震加固改造手册》即将付印,译者为保证质量,已前后五次校稿,但还想再校对两遍,不幸的是 2008 年 5 月 12 日发生了汶川大地震,本手册的尽快出版显得尤为重要,时间有些仓促。汶川地震后译者有机会两次去四川做震后调研(第一次历时 7 天经西线,去了映秀、马尔康、卧龙、汶川等重灾区,第二次历时 8 天经东线,去了绵阳、江油、平武、北川、青川、广元、德阳、绵竹、什邡等重灾区),译者认为汶川地震的主要特点是地质灾害、次生灾害严重。对桥梁结构应重视桥梁整体动力特性、构造细节设计、减隔震设计。除桥梁震害外,还造成支挡结构、边坡、隧道、涵洞和路基的严重损毁。这两本手册是国际前沿的研究成果,译者相信本手册的研究成果对我国公路结构物的抗震评价与加固技术,特别是汶川地震灾后公路工程的修复、重建有重要价值。

Seismic Retrofitting 我们译为“抗震加固”,这是沿用了国内通常默认的习惯用词,译者认为译为“耐

震加固改造”也许更好一些,但我们还是采用大家习惯的用词。本文的 Lower Level Ground Motion 对应的地震重现期为 500 年, Upper Level Ground Motion 对应的地震重现期为 1000 年,起初我们将前者译为小震地震动水平(准),后者译为大震地震动水平(准),但容易和我国的小震(地震重现期为 50 年)、中震(地震重现期为 475 年)、大震((地震重现期为 1642 年~2475 年)混淆,所以我们分别改译为:地震动水平 I、地震动水平 II。

本手册第一部分——桥梁由:第一章、第二章由王克海译,第三~五章韦韩译、第六章姜震宇译、第七章杨江芃译、第八章张悦译、第九~十一章李茜译、附录翟东武译,之后李茜校稿一遍,莫勋涛校稿一遍,王克海校稿三遍、并统稿。之后由 W. Phillip Yen(颜文晖)博士审校认可,同时审校的还有张劲泉、孙永红、朱晔。

本手册第二部分——支挡结构、边坡、隧道、涵洞和道路部分由:王克海、莫勋涛、杨志峰、孙永红译校,之后由 W. Phillip Yen(颜文晖)博士审校认可。

本手册翻译过程中秦权教授、王志强副教授提出宝贵意见,谨志谢忱。感谢交通出版社的责任编辑谢仁物编辑为本册的出版付出辛勤的劳动,感谢交通部公路科学研究院的院领导、科教处领导、道桥部领导的关心、支持。同时特别感谢交通运输部公路司戴东昌司长长期以来对我们的关心、帮助。

美籍华人桥梁专家 W. Phillip Yen(颜文晖)博士是美国联邦 Turner - Fairbank 公路研究中心基础设施研发部地震减灾计划科技项目负责人, Yen 博士是美国桥梁抗震研究的总召集人,是美国联邦公路局在美国地震灾害减灾计划(NEP)中的代表,为第四届和第五届美国地震工程会议桥梁和公路工程分会的筹委会成员和技术委员会的主席。他是美国联邦公路局国家地震工程委员会的主席,兼任美日桥梁工程年度研讨会的美方主席。他是美国结构工程协会的委员,同时也是美国结构工程师协会建筑委员会地震修复分会的有投票权委员。他也是中美洲公路工程地震会议的筹委会成员, Yen 博士同时也是弗吉尼亚州的注册职业工程师, Yen 博士是国际知名桥梁专家。本手册中, Yen 博士是联邦公路局的技术代表,多年来一直致力于中美桥梁技术交流、合作,他授权译者翻译出版本手册,在百忙中亲自审阅、校对了全稿,并提出许多宝贵的修改意见,为此译者表示衷心的感谢。

特别需要说明的是:本书的出版得到西部交通建设科技项目(合同编号:200231800028)、国家自然科学基金资助项目(50778085)和交通部公路科学研究院创新基金的资助。

尽管多次校对修改,限于水平,加之时间仓促,译文难免有不足之处,望读者指正(邮箱:kehawang@263.net 或 kh.wang@rioh.cn)。

译者

2008年6月于北京

# 前 言

本手册共分两部,介绍了公路结构对地震效应的易损性评估、提高结构性能的加固改造技术等领域的最新技术发展情况。手册的第一部分着重于公路桥梁,对联邦公路局 1995 年出版的报告(FHWA-RD-94-052)《公路桥梁抗震加固手册》进行了修订;第二部分介绍其它典型公路结构(含支挡结构、边坡、隧道、涵洞和道路等)的评估与加固技术。

本手册的面世得益于美国联邦公路局的桥梁与公路工程抗震研究计划,1991 年陆路综合运输效率法案(Intermodal Surface Transportation Efficiency Act,简称 ISTEA 冰茶法案)出台后,该计划于 1992 年开始启动;1997 年面向 21 世纪运输权益法案(Transportation Equity Act for the 21st Century,简称 TEA - 21)出台后,该计划得以延续。关于桥梁和公路工程结构的评估和加固技术和理论已经相对成熟,因此如果不出意外,联邦公路局对典型公路桥梁的加固手册应该不会再进行修订,以此为最终版本;但是对于特殊桥梁结构,如桁架桥和缆索承重桥梁(如悬索桥和斜拉桥等),以及手册第二部分涉及到的结构等的性能评估与加固技术还有待深入研究,在减隔震技术如桥梁隔震支座和阻尼器等方面也需要加强。因此,我们相信联邦公路局在未来会对手册的第二部分进行修订,也会针对特殊结构和减隔震技术等出版相关的技术手册。

Gary L. Henderson  
基础设施研发部门经理

## 声 明

本文献是出于信息交换的目的,在美国运输署的资助下发行的。美国政府对使用本文献中的信息不负任何责任。本报告不是标准、规范或条例。

美国政府没有认可任何产品或制造商。之所以商标或制造商的名称出现在本报告中,仅仅是因为考虑到它们对达到文献的目标是必不可少的。

## 品质保证声明

为服务政府、工业界和大众,联邦公路管理局(FHWA)提供高品质信息,以提升公众理解力。使用标准和规范来保证并使其信息的品质、客观性、实用性和完整性达到最高水平。为了保证品质得到持续的改善,FHWA 定期对品质问题进行检查,并对其计划和过程进行调整。

# 序

本报告是对联邦公路局 1995 年出版的报告(FHWA-RD-94-052)——《公路桥梁抗震加固手册》的大修订。本版本除了桥梁结构之外,也涵盖了支挡结构、边坡、隧道、涵洞和路基等结构的评估与加固技术。共分为两部分:

第一部分:桥梁结构

第二部分:支挡结构,边坡,隧道,涵洞和路基

第一部分保留了 1995 年报告加固过程的基本内容,主要修订内容是基于以下几点考虑:(1)地震工程的最新研究进展;(2)公路桥梁加固的实际经验;(3)加州和其它地方的桥梁结构在近期地震中的性能表现。此次修订成功是涉及各个学科领域的研究者和工程师共同努力的结果。

与新建建筑结构和桥梁结构的基于性能设计相似,本手册介绍了基于性能的加固理念。对两种不同重现期(100 年和 1000 年)的地面运动,建立了性能准则。对重现期短的(地震动水平 I)相对于重现期长的(地震动水平 II),其性能水平要求更高。性能准则根据桥梁重要性和预期服役年限来确定;对于重要的新桥,其性能准则定的相对高一点;对于剩余服役年限不长的常规桥梁其性能准则相对较低。

使用抗震加固类别(SRC)来识别最低的筛选要求、评估方法和对缺陷桥梁的加固措施。SRC A 不需要加固;SRC B 在某些特定条件满足时,无需进行详细的评价;SRC C 和 SRC D 则需要更严格的筛选、评估和采取加固措施。手册中介绍了不同的加固策略,以及对应每种加固策略的详细加固方法,包括限位器、支座支承面拓宽、墩柱外包壳套、基础覆层、场地修复等。

本手册共 11 章和 6 个附录。

第 1 章对加固过程进行了概述,包括基于性能的抗震加固理念,地震和地质灾害的特性,抗震加固类别(SRC)分配,筛选方法、评估工具、加固策略综述等。本章内容在随后的 10 章中会更详细的介绍。

第 2 和第 3 章介绍地震和地质灾害的特点。

第 4 章介绍了两种用于筛选和优先排序的地震分级法,对每一种方法都给出了实例。

第 5,6 和 7 章按照方法的精确度,依次介绍了六种用于需求和能力评价的评估方法,对一座完整的桥梁,可对构件进行依次分析,也可对整座桥梁进行分析。

第 8,9,10 和 11 章介绍支座、支座垫石、墩柱、桩、盖梁、墩-盖梁节点、桥台、基础的加固方法,以及危险场地桥梁加固措施。

附录 A 到 D 补充了特定场地地质勘察、地质灾害危险性评估、易损性曲线理论、桥梁构件的能力/需求比计算等内容。附录 E 和 F 分别对一座多跨混凝土桥和一座钢桥使用了构件能力与需求比的评估方法。

术语表、简写词、符号和参考文献也在附录中。

注:本手册在编过程中,美国交通部正好推广使用公制单位,因此手册中的所有例题均使用国际单位制。而当前美国很多州的交通厅则建议使用传统的美制单位,故手册未来的修订版可能会适应这种趋势。

1. 报告编号: FHWA-HRT-06-032		2. 政府批准号		3. 接受人目录编号:	
4. 标题和小标题 公路结构抗震改造手册: 第 1 部分—桥梁				5. 报告日期 2006 年 1 月	
				6. 完成机构编码 无	
7. 作者: Ian Buckle, Ian Friedland, John Mander, Geoffrey Martin, Richard Nutt and Maurice Power				8. 完成机构编码报告编号 无	
9. 完成机构名称和地址 Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research University at Buffalo, State University of New York Red Jacket Quadrangle Buffalo, NY 14261				10. 工作单位编号: 无	
				11. 合同或资助编号: DTFH61-92-C-00106	
12. 资助机构名称和地址: Office of Federal Highway Administration 6300 Georgetown Pike McLean, VA 22101-2296				13. 报告类型与时间 Technical Report; 09/24/92-10/31/04	
				14. 资助机构代码	
15. 补充说明 联邦公路局技术代表: James Cooper, P. E. HRDI-03, Wen-hui (Phillip) Yen, P. E., Ph. D. HRDI-07, John O'Fallon, P. EO, HRDI-07					
16. 摘要 本报告是两册报告的第一册。报告名称为: 公路结构抗震改造手册: 第 1 部分: 桥梁 第 2 部分: 一支挡结构、边坡、隧道、涵洞和路面。 第一部分保留了 1995 年报告加固过程的基本内容, 主要修订内容是基于以下几点考虑: (1) 地震工程的最新研究进展; (2) 公路桥梁加固的实际经验; (3) 加州和其它地方的桥梁结构在近期地震中的性能表现。此次修订成功是涉及各个学科领域的研究者和工程师共同努力的结果。 与新建建筑结构和桥梁结构的基于性能设计相似, 本手册介绍了基于性能的加固理念。对两种不同重现期 (100 年和 1000 年) 的地面运动, 建立了性能准则。对重现期短的 (地震动水平 I) 相对于重现期长的 (地震动水平 II), 其性能水平要求更高。性能准则根据桥梁重要性和预期服役年限来确定; 对于重要的新桥, 其性能准则定的相对高一点; 对于剩余服役年限不长的常规桥梁其性能准则相对较低。使用抗震加固类别 (SRC) 来识别最低的筛选要求、评估方法和对缺陷桥梁的加固措施。SRC A 无需要加固; SRC B 在某些特定条件满足时, 无需进行详细的评价; SRC C 和 SRC D 则需要更严格的筛选、评估和采取加固措施。手册中介绍了不同的加固策略, 以及对应每种加固策略的详细加固方法, 包括限位器、支座支承面拓宽、墩柱外包壳套、基础覆层、场地修复等。					
17. 关键词 桥梁, 地震, 地震学, 基于性能的加固, 抗震加固分类, 筛选, 优先权, 评价, 加固分类, 措施, 指南			18. 发行声明 无限制。公众可以通过 the National Technical Information Service, Springfield, VA 22161 得到本文献。		
19. (本报告) 安全分类号 无分类		20. (本页) 安全分类号 无分类		21. 页数 656	22. 价格



## 简写词和符号

### 简写词

AASHTO	美国各州公路和运输工作者协会
ASL	预期服役年限
ASTM	美国材料实验协会
ATC	应用技术委员会
ATC/MCEER	ACT 和 MCEER 为地震工程研究联合设立的机构
AVR	桥台的易损性级别
BHT	Becker 锤击试验
BSSC	NEHRP 建筑规程
BSTRUCT	桩基础塑性变形程序
C/D	能力/需求比
Caltrans	加州交通局
CDMG	加州矿资源与地质调查局
CD - ROM	光盘驱动器
CEUS	美国中东部各州
CGS	加州地质调查局
CIDH	钻孔灌注
CPT	圆锥贯入试验
CQC	完全二次组合
CRR	对比循环抗力比
CSABAC	加州抗震咨询筹备董事委员会
CSR	循环应力比
CVR	桥墩的易损性级别
DL	恒荷载
EBF	偏心联接构架
FEMA	联邦紧急救援署
FEX	超越概率
FHWA	美国联邦公路局
FLPIER	土—基础相互作用分析软件
FRP	玻璃纤维增强塑料
FS	安全性系
HAZUS	FEMA 开发的建筑环境地震损失评估软件
HITEC	公路创新技术评估中心
IBC	国际建筑规范

ICBO	国际建筑官员联合会
LL	地震动水平 I
LL	活荷载
LPILE	桩基础横向力分析软件
LRFD	荷载和抗力因素设计规范
LVR	土体液化的易损性级别
MCE	最大考察地震
MCEER	地震工程多学科研究中心
MDOF	多自由度
NBI	国家桥梁库
NCHRP	美国联合道路研究计划
NDP	非线性动力方法
NEHRP	国家地震减灾计划
NSP	非线性静力分析方法
NZS	新西兰标准
PEX	超越概率
PGA	地震动峰值加速度
PL	性能水平
RCR	维修花费比
SA	加速度反应谱
SCEC	南加州地震研究中心
SDOF	单自由度
SEISAB	桥梁地震响应分析软件
SHL	地震危险性水平
SPC	抗震性能类别
SPS	剪力板系统
SPT	标准贯入度试验
SRA	地震危险性评价
SRC	抗震加固类别
SRSS	平方和开平方
SFSI	土—基础—结构相互作用
SSI	土—结构相互作用
STRAHNET	国防高速公路网。该公路网是国家高速公路系统一个组成部分 并将军事基地、工业和资源连接起来
STU	传震装置
TADAS	三角形钢板
UHM	超高模量
UL	地震动水平 II
ULM	均布荷载法
USGS	美国地质勘探局
WUS	美国西部各州

## 符号

## • 第 1 章 公路桥梁抗震加固

 $F$ ——抗震能力 $F_L$ ——纵向地震需求 $F_T$ ——横向地震需求 $F_a$ ——场地类别和短周期(0.2s)谱加速度  $S_s$  的函数 $F_v$ ——场地类别和长周期(1.0s)谱加速度  $S_1$  的函数 $\bar{N}$ ——平均标准贯入度试验(SPT)锤击数 $P$ ——优先指数 $PI$ ——塑性指数 $R$ ——桥梁等级 $S_1$ ——场地类别 B 下周期 1.0s 对应的谱加速度 $S_s$ ——场地类别 B 下周期 0.2s 对应的谱加速度 $S_{D1}$ ——考虑场地效应下周期 1.0s 对应的谱加速度 $S_{D_s}$ ——考虑场地效应下周期 0.2s 对应的谱加速度 $\bar{S}_u$ ——平均不排水抗剪强度 $v_s$ ——上部 30m(100ft) 范围内土层平均剪切波速 $W$ ——重量 $w$ ——含水率

## • 第 2 章 地震危险性分析

 $\xi$ ——黏滞阻尼比 $\xi_{\text{eff}}$ ——有效黏滞阻尼比 $v$ ——年超越频率 $d_c$ ——地面以下 30m 土层内的黏性土层厚度 $d_i$ ——0 到 30m 间第  $i$  层土层厚度 $d_s$ ——地面以下 30m 土层内的无黏性土层厚度 $F_a$ ——设计反应谱短周期场地系数 $F_v$ ——设计反应谱长周期场地系数 $i$ ——土层 $k$ ——地面以下 30m 土层内黏性土层数 $\bar{N}$ ——地面以下 30m 范围内的标准贯入试验锤击数[0.3m(1ft)] $N_{\text{ch}}$ ——地面以下 30m 范围内无黏性土层 $N_i$ ——第  $i$  层标准贯入试验锤击数 $P_E$ ——超越概率 $P_I$ ——塑性指数 $S_1$ ——场地类别 B 下周期 1.0s 对应的谱加速度 $S_{D1}$ ——考虑场地效应下周期 1.0s 对应的谱加速度 $S_{D_s}$ ——考虑场地效应下周期 0.2s 对应的谱加速度 $S_s$ ——场地类别 B 下周期 0.2s 对应的谱加速度 $\bar{S}_u$ ——不排水抗剪强度

- $S_{ui}$ ——第  $i$  层黏性土层的不排水抗剪强度  
 $T$ ——震后周期  
 $t$ ——桥梁寿命  
 $v_{si}$ ——第  $i$  层的剪切波速  
 $v_s$ ——地面以下 30m 范围内土层的平均剪切波速  
 $w$ ——含水量
- 第 4 章 用于筛选和优先排序的地震分级法
    - $\alpha$ ——倾斜角
    - $A_2$ ——修正后脆弱性曲线参数
    - $a_2$ ——修正后谱加速度(周期 1.0s)
    - $B$ ——桥面宽度
    - $B_{LOSS}$ ——桥梁损坏导致的直接经济损失
    - $b_{max}$ ——墩(柱)最大横向尺寸
    - $F$ ——框架系数
    - $H$ ——高度
    - $H_{LOSS}$ ——由人员的伤亡、交通堵塞、延误以及交通中断引起的经济损失
    - $K_{shape}$ ——设计加速度谱的形状系数
    - $K_{skew}$ ——考虑桥梁弯斜角的易损性修正系数
      - $L$ ——从底座到相邻伸缩缝或到桥面板端部的桥面板长度
      - $L$ ——上部结构支撑长度
      - $L_e$ ——墩柱有效高度
      - $N$ ——最小建议支承长度
      - $n$ ——桥梁跨数
      - $np$ ——墩数
      - $P$ ——优先指数
      - $P_R$ ——从  $Q$  中扣除的总数,用于考虑已知能够降低剪切破坏的那些因子的作用
      - $P_s$ ——纵向钢筋用量,表示为墩(柱)截面面积的百分比的形式
      - $Q$ ——墩易损性级别系数
      - $R$ ——桥梁等级
    - $RCR_i$ ——第  $i$  破坏等级的维修费用比
    - $RCR_T$ ——全部维修费用比
      - $S$ ——场地系数
      - $S_{DI}$ ——考虑场地效应下周期 1.0s 对应的谱加速度
    - $T_{LOSS}$ ——经济损失总数
      - $U$ ——桥梁更换费用
      - $V$ ——桥梁易损性级别
      - $V_L$ ——纵向地震动导致的倒塌或失效易损性
      - $V_T$ ——横向地震动导致的倒塌或失效易损性
  - 第 5 章 既有桥梁的评估方法
    - $\alpha$ ——倾斜角
    - $\Delta$ ——上部结构位移
    - $\Delta_{max}$ ——最大位移
    - $\Delta'_{max}$ ——极限位移状态

- $\Delta_y$ ——屈服位移  
 $\mu$ ——位移延性系数  
 $\xi_{\text{eff}}$ ——有效黏性阻尼系数  
 $\rho_t$ ——纵向钢筋的配筋率  
 $\phi$ ——能力减少系数  
 $\omega$ ——角频率  
 $\Sigma Q_{\text{NSi}}$ ——非地震作用下构件的位移或内力合力  
 $A_g$ ——截面毛面积  
 $B$ ——宽度  
 $B_L$ ——反应谱长周期段的阻尼系数  
 $B_S$ ——反应谱短周期段的阻尼系数  
 $C_c$ ——承载能力系数  
 $C_d$ ——地震需求系数  
 $D$ ——墩间最小间距或直径  
 $D_p$ ——弯矩作用弱轴方向的桩间距  
 $F$ ——作用于桥梁上的总水平力  
 $F_y$ ——屈服力  
 $f_c$ ——混凝土抗压强度  
 $g$ ——重力加速度  
 $H$ ——高度  
 $K$ ——桥梁横向刚度  
 $k_1$ ——在所考虑方向上的弹性刚度, 横向或纵向  
 $k_2$ ——在所考虑方向上, 屈服后的等效刚度, 横向或纵向  
 $L$ ——桥梁总长  
 $L$ ——伸缩缝间距离  
 $M/V$ ——等效悬臂构件的剪跨长度  
 $M_n$ ——墩(柱)的名义屈服弯矩  
 $N$ ——最小支承宽度  
 $N_0$ ——桥台或墩顶的容许支承宽度  
 $P$ ——轴力  
 $P_c$ ——钢墩(柱)或木桩的受压承载力  
 $P_e$ ——地震和自重作用下, 桥梁墩(柱)的轴力  
 $p_e$ ——作用在桥梁上单位长度的等效均布静力地震荷载  
 $p_o$ ——均布荷载  
 $P_y$ ——钢墩(柱)或桩屈服时的轴向承载力  
 $Q_{\text{EQ}}$ ——在考虑地震荷载作用  $T$ , 位移成力的需求。  
 $R$ ——墩横向弹性需求/能力比  
 $R_c$ ——需要评估构件的名义极限位移或承载能力  
 $S_a$ ——谱加速度  
 $S_d$ ——谱位移  
 $T$ ——周期, 或墙厚, 或截面的最小长度  
 $V_{s, \text{max}}$ ——静力位移的最大值  
 $V_U$ ——位移为零时的横向强度能力

$W$ ——重力

$W'$ ——每个墩的重力

$w(x)$ ——上部结构及附属子结构的恒荷载

• 第6章 地基与基础的建模和能力评估

$\gamma$ ——土体重度

$\gamma_t$ ——单位土体总重力

$\gamma_w$ ——水的单位重力

$\delta_c$ ——忽略土体影响,桩承受轴压力时桩顶轴向位移

$\lambda$ ——桩的特征长度,定义为  $\lambda = \left(\frac{EI_p}{E_s}\right)^{0.25}$

$\nu$ ——泊松比

$\sigma'_0$ ——有效竖向应力

$\varphi$ ——土体内摩擦角

$AE$ ——桩的刚度

$B$ ——承台宽度

$c$ ——土体抗压强度

$D$ ——桩直径

$D_g$ ——伸缩缝的宽度

$d$ ——样本深度

$d_w$ ——水深

$E$ ——弹性模量

$EI, EI_p$ ——桩的抗弯刚度

$E_s$ ——地基模量

$e$ ——埋置系数

$F_v$ ——安全系数

$f$ ——非弹性地基模量的变化系数

$G_0$ ——初始的或低应变的剪切模量

$g$ ——重力加速度

$H$ ——高度

$I_x, I_y$ ——承台绕  $x$  和  $y$  轴的抗弯惯性矩

$K$ ——土体刚度系数

$L$ ——长度

$M_c$ ——极限抗弯能力

$(N1)_{60}$ ——标准的修正锤击数  $(N_1)_{60}$

$P$ ——承台上的竖向力

$P_p$ ——单位墙长度上的被动土压力合力

$p_p$ ——作用在后墙上的被动土压力

$Q$ ——轴力

$q$ ——承台上的竖向力(接触应力)

$q_c$ ——土体单位面积极限强度

$v_s$ ——小应变下的剪切波速

$Z$ ——位移

$Z_c$ ——能力极限状态下的位移

- $z$ ——地面以下的深度
- 第7章 结构件模和能力评估
- $\alpha$ ——压杆角度
- $\alpha$ ——受压区内的混凝土平均应力与约束混凝土强度比
- $\beta$ ——应力体系数
- $\gamma$ ——钢筋尺寸系数
- $\Delta_e$ ——弹性位移
- $\Delta_y$ ——名义屈服位移
- $\varepsilon_{ap}$ ——塑性应变
- $\varepsilon_b$ ——纵向钢筋屈曲应变
- $\varepsilon_{cu}$ ——核心混凝土的极限压应变
- $\varepsilon_{su}$ ——箍筋最大应力下的应变
- $\varepsilon_y$ ——屈服应变
- $\theta_p$ ——塑性转角
- $\theta_u$ ——极限偏移量
- $\theta_y$ ——屈服偏移量
- $\theta$ ——主裂缝的平面角
- $K_o$ ——与应力体质心有关的系数
- $\Lambda$ ——固定因子
- $\mu_{lapb}$ ——在接头区最早发生黏结失效的曲率延性
- $\rho_s$ ——箍筋体积配筋率
- $\rho_l$ ——纵向钢筋体积配筋率
- $\rho_v$ ——箍筋体积配筋率
- $\rho_x, \rho_y$ ——核心混凝土  $x$  轴和  $y$  轴箍筋的体积配筋率
- $\phi$ ——强度折减系数
- $\phi_e$ ——预期强度系数
- $\phi_o$ ——超强系数
- $\phi_p$ ——塑性曲率
- $\phi_u$ ——极限曲率
- $\phi_y$ ——名义屈服曲率
- $A_{bh}$ ——单肢箍筋面积
- $A_{cc}$ ——约束混凝土核心区面积
- $A_e$ ——有效剪切面积
- $A_g$ ——截面毛面积
- $A_{jh}$ ——梁—柱节点在水平面上的面积
- $A_{st}$ ——钢筋面积
- $A_v$ ——横向剪切钢筋的面积
- $A_w$ ——梁或柱的剪切面积
- $b^n$ ——垂直于  $y$  轴的墩宽
- $b_w$ ——横跨矩形截面宽度方向, 横向剪切钢筋中心线间的距离
- $C_v$ ——恒荷载因子
- $c$ ——最外侧受压纤维到中心轴的距离
- $D$ ——截面高度

- $D'$ ——矩形截面最外侧纵向钢筋间的间距  
 $D''$ ——箍筋直径  
 $d$ ——从边缘受压纤维到受拉钢筋外层的距离  
 $d'$ ——从边缘受压纤维到最近的受压钢筋中心的距离  
 $d_b$ ——纵向钢筋直径  
 $E_c$ ——弹性模量  
 $E_c I_{\text{eff}}$ ——有效抗弯刚度  
 $E_s$ ——钢筋弹性模量  
 $f_v$ ——节点的平均轴向应力  
 $f_{cc}$ ——核心混凝土强度  
 $f_c$ ——混凝土的极限抗压强度  
 $f_{ce}$ ——混凝土的预期极限抗压强度  
 $f_h$ ——节点平均水平轴向应力  
 $f_1$ ——圆柱墩的横向应力,由横向钢筋屈服时提供的  
 $f_{ix}, f_{ly}$ —— $x$ 方向, $y$ 方向上横向约束应力  
 $f_{su}$ ——纵向钢筋的极限抗拉强度  
 $f_y$ ——屈服应力  
 $f_{ye}$ ——纵向钢筋的预期屈服强度  
 $f_{yh}$ ——横向箍筋的屈服应力  
 $h_b$ ——盖梁节点高度  
 $I_g$ ——未开裂截面的抗弯惯性矩  
 $j_d$ ——混凝土受压构件的内部杠杆臂  
 $K$ ——增强系数  
 $K_{\text{shape}}$ ——形状系数  
 $k_c$ ——螺旋箍筋和环形箍筋的有效约束系数  
 $L$ ——长度  
 $L/D'$ ——构件长细比  
 (P208 页少了一个“比”字)  
 $L_{\text{gap}}$ ——外包壳体边缘与墩帽底部或承台顶部之间的净距  
 $L_p$ ——等效塑性铰长度  
 $l_s$ ——搭接区长度  
 $M_D$ ——设计弯矩  
 $M_e$ ——预期抗弯强度  
 $M_n$ ——构件名义屈服弯矩(理论屈服强度)  
 $M_p$ ——塑性抗弯能力  
 $M_{po}$ ——超强抗弯能力  
 $P$ ——构件上的轴力  
 $P_e$ ——截面上的轴力  
 $p_t$ ——较大的主拉应力(受拉为正)  
 $S$ ——横向环箍中心线之间的纵向间距  
 $S_d$ ——设计强度  
 $S_n$ ——名义强度  
 $S_o$ ——超强



- $s$ ——箍筋间距  
 $T_n$ ——桥梁的自振周期  
 $V_{cf}$ ——混凝土的最终剪切强度  
 $V_{ci}$ ——由混凝土中斜向拉力场提供的抗剪切强度的贡献  
 $V_f$ ——最终剪切强度  
 $V_i$ ——初始剪切强度  
 $V_{jf}$ ——最终节点剪切强度  
 $V_{jh}$ ——节点水平剪力  
 $V_{ji}$ ——梁—柱节点的初始剪切强度  
 $V_m$ ——剪切需求  
 $V_p$ ——由拱(压杆)作用提供的抗剪强度的贡献  
 $V_s$ ——由钢筋桁架作用提供的抗剪强度的贡献  
 $v_j$ ——节点的平均剪应力  
 • 第 8 章 上部结构、支座以及支座垫石的加固方法  
 $\alpha$ ——倾斜角  
 $\beta$ ——频率比  
 $\xi$ ——等效黏滞阻尼比  
 $\mu$ ——延性能力  
 $\{\phi_i\}$ ——第  $i$  振型  
 $A_r$ ——单个限位器面积  
 $D_1$ ——单跨的最大位移  
 $D_2$ ——墩顶的最大位移  
 $D_{as}$ ——容许支承宽度  
 $D_{eqo}$ ——无约束时伸缩缝的相对位移  
 $D_r$ ——限位器最大容许伸长量  
 $D_{rs}$ ——限位器松弛度  
 $D_y$ ——屈服时限位器伸长量  
 $E$ ——弹性模量  
 $F_b$ ——节点平均水平轴向应力  
 $f_y$ ——屈服应力  
 $[K]$ ——带有限位器的两个框架的刚度矩阵  
 $K_{DED}$ ——延性端隔板的刚度  
 $K_r$ ——限位器刚度  
 $K_{SUB}$ ——下部结构刚度  
 $L_r$ ——限位器长度  
 $[M]$ ——两框架系统的质量矩阵  
 $N_r$ ——限位器个数  
 $P$ ——恒荷载  
 $P_i$ ——第  $i$  振型参与系数  
 $R$ ——反应修正系数  
 $s$ ——限位器松弛长度  
 • 第 9 章 下部结构加固方法  
 $\alpha$ ——构件长细比