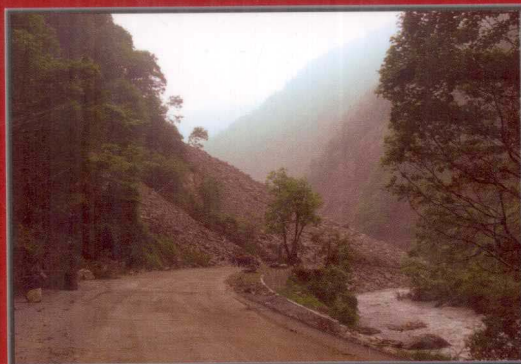
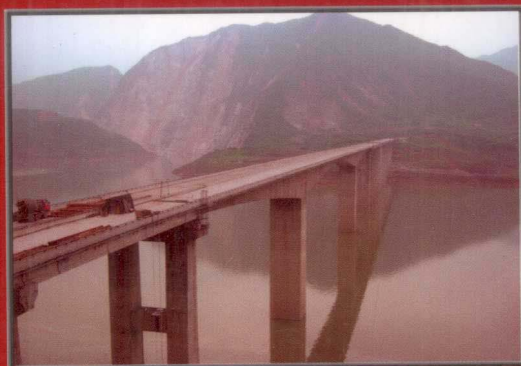


西部交通建设科技项目资助  
国家自然科学基金项目资助



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

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

下册(第二部分):支挡结构、边坡、隧道、涵洞和道路

编著: Maurice Power, Kenneth Fishman, Rowland Richards,  
Faiz Makdisi, Samuel Musser and T. Leslie Youd

译校: 王克海 莫勋涛 孙永红 杨志峰

审校: W. Phillip Yen(颜文晖)

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(下册(第二部分):支挡结构、边坡、隧道、涵洞和道路)

著 者: Maurice Power, Kenneth Fishman 等编著 王克海 莫勋涛等译校

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: 13.1

字 数: 331千

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 multidisciplinary 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、第七章杨江芑译、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、朱晞。

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 1983 年出版的报告 (FHWA-RD-83-007)——《公路桥梁地震加固指导意见》的一次重大修订。此旧版于 1994 年进行了更新,1995 年 5 月以报告形式 (Report FHWA-RD-94-052) 出版了临时修订版《公路桥梁抗震改造手册》。当前版本对前面版本的内容做了扩充,除了桥梁之外,还加入了在抗震能力方面不足的支挡结构、边坡、隧道、涵洞和道路的各种评估与加固方法。手册分为以下两部分出版:

第一部分:桥梁

第二部分:支挡结构、边坡、隧道、涵洞和道路。

虽然第一部分保留了 1983 年的报告对加固过程描述的基本格式,但是,为了将地震工程的进展、现场经验以及在加利福尼亚及以外地区最近发生的地震中桥梁的性能表现包括进来,本手册已经做了重大改动。

第二部分以下列公路体系组成部分的地震脆弱性筛选、评价和改造为重点:支挡结构、边坡、隧道、涵洞和道路。这是目前已知的(旨在改善除桥梁之外的组成公路体系结构的各个部分的性能为目的的)对地震性能和改造的重要的方面进行规范地和连贯地记录的第一个成果。

应当注意到,本手册是在美国运输署正向公制单位转换期间编写的,所以,各问题的例子都使用 SI 单位。然而,由于大多数州已经采用公制单位制,所以,以后的版本也将改变单位制。

技术报告归档页

1. 报告编号: FHWA-HRT-05-067		2. 政府批准号		3. 接受人目录编号	
4. 标题和小标题 公路结构物抗震加固改造手册: 第2部分 - 支挡结构、边坡、隧道、涵洞和道路		5. 报告日期 2004年8月		6. 完成机构编码 无	
		7. 作者 Maurice Power, Kenneth Fishman, Rowland Richards, Faiz Makdisi, Samuel Musser and T. Leslie Youd		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 美国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二册。报告名称为: 公路结构物抗震加固改造手册: 第一部分: 桥梁。 第二部分: 支挡结构、边坡、隧道、涵洞和道路。 本手册第一部分是基于联邦公路局就同一题材的先前的手册而来的。该手册在1995年以报告号 FHWA-RD-94-052 形式出版。为把地震工程的最新进展、公路桥梁加固的现场经验和在最近地震中桥梁的性能表现包括进来, 对该手册进行了修订。本手册是集多个学科的研究人员和从业者贡献的多年研究的结果。 第二部分加入了确定公路系统其他重要结构地震脆弱性的新方法, 即, 支挡结构、边坡、隧道、涵洞和道路。指导意见覆盖的方面有: (a) 潜在地震脆弱性的筛选; (b) 详细评价的开展; (c) 改造设计的策略描述。此外, 根据类型、构造或期望性能对每一种结构进行了分类讨论。这项内容之所以必要, 是因为每一结构在类型上的不同(例如, 不同类型的挡土墙)可能产生失效模式的不同, 并因之要求在地震脆弱性筛选、详细评价和改造方面使用稍微有点差别的方法					
17. 关键词 桥梁, 地震, 地震学, 改造, 重点, 评价, 分类, 加固措施, 筛选, 指导, 支挡结构, 挡土墙, 边坡, 隧道, 涵洞, 路面, 面层			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 368(英文原稿页数)	22. 价格		



# 缩略语与符号表

## 缩略语

AASHTO	美国各州公路与运输工作者协会
ACI	美国混凝土学会
ACP	沥青混凝土
ACPA	美国混凝土管协会
AFTES	法国隧道协会
AISI	美国钢铁协会
ASCE	美国土木工程师协会
ASTM	美国材料实验协会
ATC	应用技术委员会
BART	海湾地区快速运输系统
BSSC	建筑抗震安全委员会
CMBC	金属波纹箱涵
CMLS	金属波纹大跨度
CMP	金属波纹管
CPT	圆锥贯入实验
EAI	有效锚固指数
EP	路堤贯穿
EPI	埋置参与指数
FEMA	联邦应急管理局
FHWA	联邦公路管理局
FR	断层破裂
FRP	纤维加筋塑料
GEC	岩土工程通报
GS	地震动
H/B	高/基础宽度
HDPE	高密度聚乙烯
LA	滑坡
LO	侧向过压
LQ	液化
LS	侧向扩展
MCE	最大考虑地震
MCEER	多学科地震工程研究中心
MCU	模块混凝土单元
MD	最大位移
M-O	Mononobe-Okabe 分析法

MSE	机械稳定土
NATM	新奥法
NCMA	国家混凝土砌体协会
NEHRP	国家地震减灾计划
NMSZ	新马德里地震带
PCC	波特兰水泥混凝土
PGA	地面峰值加速度
PGD	地面峰值位移
PGV	地面峰值速度
PTI	后张法协会
PVC	聚氯乙烯
RC	相对压实
RCBC	钢筋混凝土箱涵
RCLS	钢筋混凝土大跨
RCP	钢筋混凝土管
RQD	岩体质量指标
SAS	结构引板
SG	强地震动
SIDD	直接设计法的标准设备
SL	塌落
SPT	标准贯入试验
SRSS	平方和的平方根
SRW	局部挡土墙
UCP	无筋混凝土管
UMP	无加强砌体管
USGS	美国地质勘探局

## 符号

### • 第2章:挡土墙和支挡结构

$\alpha_{AE}$ ——主动破裂面倾角。

$\beta$ ——墙倾角;挡土墙背面的倾角。

$\beta_2$ ——挡土墙正面的倾角。

$\gamma$ ——单位重力。

$\gamma'$ ——水下单位重力。

$\gamma_1$ ——回填单位总力。

$\Delta$ ——运动的总水平分量。

$\Delta\rho_{AE}, \Delta\rho_{PE}$ ——待加到静力值或从中减除的动态效应。

$\delta$ ——墙/回填界面摩擦角。

$\delta_f$ ——基础底面与土间的界面摩擦角。

$\delta_w$ ——墙/土界面摩擦角。

$\mu$ ——加强与填土之间的摩擦系数。

$\rho_{AE}$ ——承载力破坏时主动部分滑动面的角度。

- $\varphi$ ——摩擦角。  
 $\varphi_b$ ——墙底/地基土界面摩擦角。  
 $\varphi_f$ ——地基土的摩擦角。  
 $\varphi_w$ ——回填的内摩擦角。  
 $\psi$ ——墙倾角。  
 $A_D$ ——锚固力。  
 $A_R$ ——锚定板阻力。  
 $B$ ——基础宽度。  
 $b$ ——加强的宽度。  
 $c$ ——地基土的内聚力。  
 $D$ ——墙趾埋置深度。  
 $d$ ——残余位移;水平距离。  
 $D/H$ ——埋置深度系数。  
 $e$ ——偏心距。  
 $f$ ——摩擦系数。  
 $F_{\gamma_{il}}$ ——土摩擦项的深度系数。  
 $F_{\gamma_i}$ ——土摩擦项的倾角系数。  
 $F_A$ ——设计力。  
 $F_a$ ——场地系数。  
 $F_c^i$ ——加强层的连接承受能力。  
 $F_{dyn}$ ——深度  $z$  处加强的拉力;动拉力。  
 $f_N$ ——抵抗力。  
 $F_{qd}$ ——过载项深度系数。  
 $F_{qi}$ ——过载项倾角系数。  
 $F_{sta}$ ——静拉力。  
 $F_{static}$ ——静态安全系数。  
 $g$ ——重力加速度。  
 $h$ ——锚定板高度。  
 $H$ ——高度。  
 $\bar{h}$ ——从  $P_{AE}$  的作用线到墙基础的垂直距离。  
 $i$ ——回填的倾角。  
 $j$ ——面板单位。  
 $K_A$ ——静态侧向土压力系数。  
 $k_e$ ——水平和垂直地震系数的函数。  
 $k_h$ ——加速度的水平分量系数。  
 $k_h^b$ ——地震引起承载能力降低,屈服加速度水平分量系数。  
 $k_h^{OT}$ ——在倾覆阈值处,加速度水平分量系数。  
 $(k_h)_{ANC}$ ——锚固失效临界加速度。  
 $(k_h)_{RT}$ ——绕墙顶旋转的临界阈值加速度。  
 $k_o$ ——考虑局部土条件的峰值地层加速度系数。  
 $L$ ——用于计算  $N$  的墙的长度。  
 $L_e$ —— $\rho_{AE}$  定义的破坏区外加强的长度。  
 $L_w$ ——墙面板的长度。

- $M_D$ ——推动力矩。  
 $M_R$ ——抵抗力矩。  
 $n$ ——剪切传递系数。  
 $N$ ——加强层数;传递到土的垂直力之和。  
 $N_\gamma$ ——土的摩擦承载力系数。  
 $N_{eE}$ ——地震承载力系数。  
 $N_q$ ——过载承载力系数。  
 $N_{qE}$ ——地震承受能力系数。  
 $N_{\gamma E}$ ——地震承受能力系数。  
 $q$ ——基础厚度产生的过载。  
 $P_{AE}$ ——主动侧向土压力。  
 $P_{AS}$ ——推动力。  
 $p_E$ ——地震承压力极限。  
 $P_{PE}$ ——填在墙趾固体物的被动阻力。  
 $R$ ——转动模式;地基土的承压力。  
 $S_{dyn}$ ——界面剪切应力。  
 $S_s$ ——地震图上的短周期加速度响应参数。  
 $s_v$ ——加强间距。  
 $T$ ——转动模式。  
 $v$ ——速度。  
 $V_u$ ——模块间界面剪切强度。  
 $w$ ——竖向荷载。  
 $W_w$ ——挡土墙重量;墙面柱的重量。  
 $x$ ——沿基础底面的接触宽度[式(2-17)]。  
 $x_c$ ——从墙重心到墙基趾的水平距离。  
 $y_c$ ——从墙重心到墙基趾的垂直距离。  
 $Y_c^i$ —— $F_c^i$ 的力臂。  
 $z$ ——基础底面以下地下水位的深度。

● 第3章 边坡、路堤和落石防护

- $A$ ——峰值地层加速度。  
 $AF$ ——张开度。  
 $a_{max}$ ——峰值地层加速度  
 $D$ ——位移;变形。  
 $h$ ——路堤高度。  
 $J_u$ ——节理变异系数。  
 $J_n$ ——节理组数。  
 $J_r$ ——节理粗糙数。  
 $k_a$ ——诱发峰值加速度。  
 $k_{max}$ ——在滑动体内诱发的峰值加速度。  
 $k_y$ ——屈服加速度。  
 $(N_1)_{60-CS}$ ——净砂击数。  
 $N_{eq}$ ——周数。  
 $Q$ ——岩体质量。

- $Q_{RF}$ ——地震落石发生指数。  
 $S_r$ ——不排水残余剪切强度(单位 psf)。  
 $T$ ——时程的卓越周期。  
 $T_0$ ——卓越自震周期。  
 $v$ ——速度。  
 $V_{max}$ ——低应变最大剪切波速。  
 $v_s$ ——土的应变相关剪切波速。
- 第 4 章:隧道**
- $\gamma$ ——剪应变。  
 $\gamma_{smax}$ ——最大自由场剪应变。  
 $\gamma_t$ ——地质介质单位总重。  
 $\Delta_{ff}$ ——隧顶以上土的自由场剪切变形。  
 $\Delta p_E$ ——隧道边墙上的侧向土压力。  
 $\Delta r$ ——隧顶以上隧道的横向撕扯变形。  
 $\varepsilon$ ——轴向应变。  
 $\varepsilon^{ab}$ ——轴向和弯曲变形联合引起的最大轴向应变。  
 $\sigma^{ab}$ ——轴向和弯曲变形联合引起的最大轴向应力。  
 $\sigma_v$ ——总的竖向应力。  
 $\tau$ ——剪应力。  
 $\nu_l$ ——衬砌的泊松比。  
 $\nu_m$ ——地质介质的泊松比。  
 $\theta$ ——隧道横断面内,从中心到隧道周边连线与水平线的夹角。  
 $\varphi$ ——关于隧道纵轴地震波在水平面内的传播方向。  
 $1/\rho$ ——曲率。  
 $A_{11}$ ——衬砌截面面积 [ 见式(4-6)和式(4-7) ]。  
 $A_{12}$ ——单位长度衬砌的面积[ 见式(4-29)和图 4-11 ]。  
 $a_{max}$ ——地表面水平峰值地层加速度。  
 $a_p$ ——P 波引起的峰值质点加速度。  
 $a_R$ ——R 波引起的峰值质点加速度。  
 $a_S$ ——S 波引起的峰值质点加速度。  
 $a_v$ ——地表面竖直峰值地层加速度。  
 $C$ ——压缩系数。  
 $C_m$ ——地质介质剪切波速。  
 $C'_m$ ——地质介质有效剪切波速。  
 $C_p$ ——P 波的视传播速度。  
 $C_R$ ——R 波的视传播速度。  
 $C_S$ ——S 波的视传播速度。  
 $D$ ——隧道直径。  
 $D_i$ ——隧道衬砌内径。  
 $D_o$ ——隧道衬砌外径( $D_o = D$ )。  
 $E_1$ ——隧道衬砌杨氏模量。  
 $f$ ——隧道每单位长度上的最大摩擦力。  
 $F$ ——柔度系数,圆形隧道。



- $F_r$ ——柔度系数,矩形隧道。
- $g$ ——重力加速度。
- $G_m$ ——地质介质剪切模量。
- $G'_m$ ——地质介质有效剪切模量。
- $H$ ——隧高。
- $h$ ——隧道中心深度。
- $I_{11}$ ——衬砌横断面惯性矩[见式(4-7)]。
- $I_{12}$ ——衬砌每单位长度的惯性矩[见式(4-17)、式(4-29)和图4-11]。
- $K_a$ ——隧道每单位长度纵向土弹簧常数。
- $K_h$ ——隧道每单位长度横向土弹簧常数。
- $K_0$ ——静止侧向土压力系数。
- $k_h$ ——水平地震系数。
- $L$ ——波长。
- $M$ ——力矩。
- P-wave——压力波。
- $Q$ ——隧道轴向力。
- $(Q_{\max})_r$ ——最大摩擦力。
- $R$ ——折减系数。
- $R_r$ ——隧道横向撕扯系数。
- R-wave——瑞利波。
- $S$ ——隧道横向撕扯刚度。
- S-wave——剪切波。
- $t$ ——衬砌厚度。
- $T$ ——推力。
- $T_{P,S,R}$ ——分别为P波,S波和R波的地震周期。
- $V$ ——剪力。
- $v_p$ ——P波引起的峰值质点速度。
- $v_R$ ——R波引起的峰值质点速度。
- $v_S$ ——S波引起的峰值质点速度。
- $w$ ——隧道宽度。
- $y$ ——从横断面的中性轴到隧道衬砌最外纤维的距离[见式(4-1)、式(4-2)和式(4-3)]。
- $Z$ ——隧道以上的土层厚度。
- 附录 A: 面波的特性
- $C_R(T)$ ——场地散射曲线。

# 目 录

第 1 章 引言	1
1.1 范围	1
1.1.1 筛选	1
1.1.2 详细评估	1
1.1.3 改造设计策略	2
1.2 设计地震、地震动、地震筛选、评估和改造的性能准则	2
1.3 报告梗概	2
第 2 章 挡土墙和支挡结构	3
2.1 简介	3
2.2 挡土墙分类	3
2.2.1 刚性重力式和半重力式挡土墙	3
2.2.2 预制模块重力式挡土墙	4
2.2.3 锚定式挡土墙	5
2.2.4 机械稳定式(MSE)挡土墙	5
2.2.5 其他类型挡土墙	6
2.3 筛选	6
2.3.1 通用筛选准则	7
2.3.2 锚定式挡土墙	9
2.3.3 MSE 挡土墙	9
2.4 挡土墙评价	11
2.4.1 详细评价需要的信息	11
2.4.2 重力和半重力式挡土墙	14
2.4.3 混凝土悬臂挡土墙(倒 T 形墙)	26
2.4.4 锚定墙	26
2.4.5 MSE 挡土墙	30
2.5 挡土结构地震改造设计	36
2.5.1 重力和半重力式挡土墙	37
2.5.2 混凝土悬臂挡土墙——挡土墙的结构破坏	38
2.5.3 锚定墙	39
2.5.4 MSE 挡土墙	39
2.6 挡土墙的筛选、地震评价和地震改造设计	40
第 3 章 边坡、路堤和落石防护	58
3.1 引言	58
3.2 分类	59
3.3 筛选方法	62
3.3.1 预筛选方法	62
3.3.2 落石的补充筛选方法	63

3.3.3	III 组液化诱发滑坡的补充准则	66
3.4	评价方法	66
3.4.1	I 组滑坡评价	67
3.4.2	II 组滑坡评价	67
3.4.3	III 组滑坡评价	74
3.5	改造方法	74
3.5.1	岩石边坡	74
3.5.2	土坡	76
3.6	例子	81
<b>第4章</b>	<b>隧道</b>	<b>87</b>
4.1	引言	87
4.2	隧道分类	87
4.2.1	暗挖隧道	87
4.2.2	明挖隧道	88
4.2.3	沉管隧道	88
4.3	筛选指南	88
4.3.1	筛选阶段的目标	88
4.3.2	影响隧道地震性能的因素	89
4.3.3	筛选指南	90
4.4	评价方法	92
4.4.1	地震动评价	92
4.4.2	断层破裂评估	107
4.4.3	滑坡或液化评价	110
4.5	改造策略	110
4.5.1	地震动诱发破坏	110
4.5.2	断层位移诱发的破坏	116
4.5.3	滑坡和液化诱发破坏	118
4.6	隧道筛选、评价和改造策略的例子	120
<b>第5章</b>	<b>涵洞</b>	<b>147</b>
5.1	简介	147
5.2	涵洞分类和背景资料	148
5.2.1	柔性涵洞——背景和设计原理	150
5.2.2	刚性涵洞——背景与设计原理	152
5.2.3	涵洞接缝	153
5.3	地震潜在破坏筛选	156
5.3.1	关于地震诱发涵洞破坏的理论概念	156
5.3.2	地震诱发涵洞破坏的经验观察	157
5.3.3	涵洞筛选准则总结	162
5.3.4	筛选方法评论	165
5.4	评价技术	166
5.4.1	永久性地层破坏	166
5.4.2	瞬态地震动	168
5.5	改造策略	170

5.5.1	地层改良 .....	170
5.5.2	拆除和更换 .....	170
5.5.3	涵洞衬砌 .....	171
5.5.4	接缝改造 .....	174
<b>第6章</b>	<b>路面</b> .....	<b>176</b>
6.1	引言 .....	176
6.2	分类 .....	176
6.3	筛选和评价指南 .....	176
6.3.1	稳定路堤和地基 .....	176
6.3.2	路堤和地基材料的压密 .....	177
6.3.3	可液化或软路堤和地基材料 .....	179
6.3.4	潜在不稳定路堤、地基或边坡 .....	182
6.3.5	活动断层 .....	184
6.4	改造策略 .....	185
6.4.1	被动策略 .....	186
6.4.2	主动策略 .....	186
<b>附录A</b>	<b>面波的特性</b> .....	<b>188</b>
A.1	引言 .....	188
A.2	地震期间主瑞利波的例子 .....	188
A.3	总结 .....	189
	<b>致谢</b> .....	<b>190</b>