

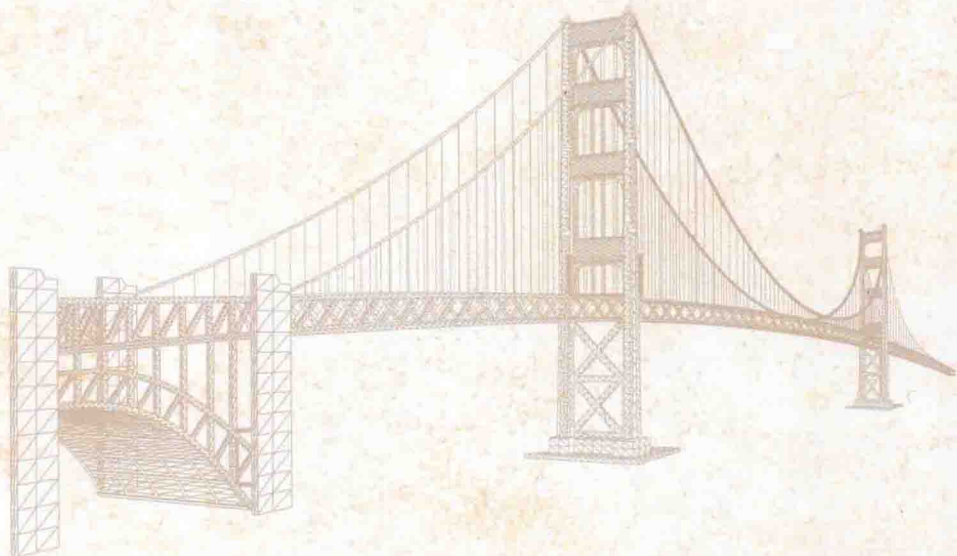
普通高等教育土木工程学科精品规划教材

桥梁抗震与抗风

BRIDGE SEISMIC AND WIND RESISTANCE

(专业核心课适用)

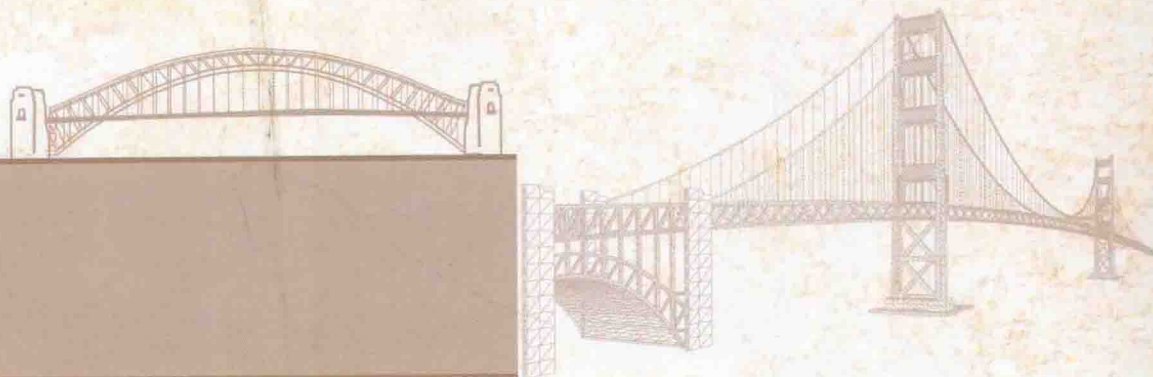
谷岩 主编 姜忻良 主审



普通高等教育土木工程学科精品规划教材

桥梁抗震与抗风

BRIDGE SEISMIC AND WIND RESISTANCE



组稿编辑：赵宏志

责任编辑：常红

封面设计：红十月工作室 RED OCTOBER STUDIO®

销售热线：022-27892072

编辑热线：13902078274

编辑信箱：zhaohongzhi1958@126.com

上架指导：土木工程/高校教材

ISBN 978-7-5618-5135-7



9 787561 851357 >

定价：35.00元

普通高等教育土木工程学科精品规划教材(专业核心课适用)

桥梁抗震与抗风

BRIDGE SEISMIC AND WIND RESISTANCE

谷 岩 主编
姜忻良 主审

 天津大学出版社
TIANJIN UNIVERSITY PRESS

内 容 提 要

本书结合最新的桥梁结构抗震设计规范,并借助大量的插图,系统介绍了桥梁抗震与抗风的基础知识、设计方法和设计具体过程,是学习桥梁抗震与抗风的入门用书。本书内容包括桥梁震害与抗震设防、场地与地基、地震反应分析与地震作用计算、桥梁延性抗震设计、MIDAS/Civil 反应谱分析、桥梁减隔震设计和桥梁抗风设计。

本书可作为高等院校本科土木工程专业的桥梁工程专业方向教学用书,也可作为桥梁工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

桥梁抗震与抗风/谷岩主编. —天津:天津大学出版社,2014.7

普通高等教育土木工程学科精品规划教材. 专业核心课适用

ISBN 978-7-5618-5135-7

I. ①桥… II. ①谷… III. ①桥梁工程—抗震设计—高等学校—教材 ②桥梁工程—抗风结构—结构设计—高等学校—教材 IV. ①U442.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第161694号

出版发行 天津大学出版社

出版人 杨欢

地 址 天津市卫津路92号天津大学内(邮编:300072)

电 话 发行部:022-27403647

网 址 publish.tju.edu.cn

印 刷 廊坊市长虹印刷有限公司

经 销 全国各地新华书店

开 本 185mm×260mm

印 张 12.75

字 数 318千

版 次 2015年1月第1版

印 次 2015年1月第1次

印 数 1—3000

定 价 35.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,烦请向我社发行部门联系调换

版权所有 侵权必究

普通高等教育土木工程学科精品规划教材

编审委员会

- 主任:顾晓鲁 天津大学教授
- 委员:戴自强 天津大学教授
- 董石麟 浙江大学教授
- 郭传镇 天津大学教授
- 康谷贻 天津大学教授
- 李爱群 东南大学教授
- 李国强 同济大学教授
- 李增福 天津大学教授
- 刘惠兰 天津大学教授
- 刘锡良 天津大学教授
- 刘昭培 天津大学教授
- 石永久 清华大学教授
- 沈世钊 哈尔滨工业大学教授
- 沈祖炎 同济大学教授
- 谢礼立 中国地震局工程力学研究所研究员


普通高等教育土木工程学科精品规划教材

编写委员会

主任:姜忻良

委员:(按姓氏汉语拼音排序)

毕继红 陈志华 丁 阳 丁红岩 谷 岩 韩 明
韩庆华 韩 旭 亢景付 雷华阳 李砚波 李志国
李忠献 梁建文 刘 畅 刘 杰 陆培毅 田 力
王成博 王成华 王 晖 王铁成 王秀芬 谢 剑
熊春宝 闫凤英 阎春霞 杨建江 尹 越 远 方
张彩虹 张晋元 郑 刚 朱 涵 朱劲松



总序

随着我国高等教育的发展,全国土木工程教育状况有了很大的发展和变化,教学规模不断扩大,适应社会对多样化人才的需求越来越紧迫。因此,必须按照新的形势在教育思想、教学观念、教学内容、教学计划、教学方法及教学手段等方面进行一系列的改革,而按照改革的要求编写新的教材就显得十分必要。

高等学校土木工程学科专业指导委员会编制了《高等学校土木工程本科指导性专业规范》(以下简称《规范》),《规范》对规范性和多样性、拓宽专业口径、核心知识等提出了明确的要求。本丛书编写委员会根据当前土木工程教育的形势和《规范》的要求,结合天津大学土木工程学科已有的办学经验和特色,对土木工程本科生教材建设进行了研讨,并组织编写了“普通高等教育土木工程学科精品规划教材”。为保证教材的编写质量,我们组织成立了教材编审委员会,聘请全国一批学术造诣深的专家作教材主审,同时成立了教材编写委员会,组成了系列教材编写团队,由长期给本科生授课的具有丰富教学经验和工程实践经验的老师完成教材的编写工作。在此基础上,统一编写思路,力求做到内容连续、完整、新颖,避免内容重复交叉和真空缺失。

“普通高等教育土木工程学科精品规划教材”将陆续出版。我们相信,本套系列教材的出版将对我国土木工程学科本科生教育的发展与教学质量的提高以及土木工程人才的培养产生积极的作用,为我国的教育事业和经济建设作出贡献。

丛书编写委员会

土木工程学科本科生教育课程体系

专业任选课程

- 结构改造与加固
- 组合结构设计原理
- 大跨建筑结构
- 工程建设质量管理
- 工程建设监理基础
- 工程承包与项目管理
- GIS原理及工程应用

课群方向课程

建筑工程方向

- 混凝土结构设计
- 建筑钢结构设计
- 砌体结构
- 建筑结构抗震设计
- 高层建筑结构

桥梁工程方向

- 桥梁工程 A
- 桥梁工程 B
- 桥涵水文与勘测
- ↓ 桥梁抗震与抗风 ★
- 桥梁施工

地下工程方向

- 地下工程结构设计
- 地下工程测量与检测
- 地下工程数值分析
- 地下工程水力学
- 地下工程施工

学科基础课程

力学原理与方法

- 结构力学
- 岩土力学
- 理论力学
- 材料力学

技术相关基础

- 土木工程材料
- 工程地质
- 画法几何与工程制图基础
- 工程测量
- 结构试验
- 土木工程概论
- 房屋建筑学

工程经济与项目管理

- 土木工程法规
- 工程经济与造价
- 工程抗震原理

结构原理与方法

- 工程抗震原理
- 荷载与结构设计方法
- 混凝土结构原理
- 钢结构原理
- 基础工程
- 土木工程
- 土木工程
- 结构设计软件

专业拓展课程

- 工程结构数值分析
- 弹性力学基础



前言

“桥梁抗震与抗风”课程是土木工程专业的学科方向专业课,本书根据最新的桥梁结构抗震设计规范进行编写,详细阐述桥梁抗震与抗风的基础知识、设计方法和具体过程,并给出采用 MIDAS/Civil 程序对一虚拟桥梁进行地震反应谱分析的实例。

全书共分 7 章。第 1 章详细介绍桥梁震害现象、桥梁结构抗震设防标准与设计流程;第 2 章介绍场地分类与地基抗震;第 3 章介绍桥梁结构地震反应分析的理论及地震作用计算方法;第 4 章介绍桥梁延性抗震设计的基本原理和方法;第 5 章应用 MIDAS/Civil 程序对一虚拟桥梁进行地震反应谱分析;第 6 章介绍桥梁减隔震技术的基本原理、装置、应用和设计原则;第 7 章介绍桥梁抗风设计。

本书在编写过程中参考了许多公开发表的文献和北京 MIDAS 技术有限公司的网络视频,在此谨向相关作者表示衷心的感谢。

因编者的水平有限,错误和遗漏在所难免,不足之处,敬请读者批评指正。

编者
2014 年 8 月

目 录

第 1 章 桥梁震害与抗震设防	(1)
1.1 引言	(1)
1.2 桥梁震害	(1)
1.2.1 上部结构的震害	(2)
1.2.2 支座的震害	(5)
1.2.3 下部结构和基础的震害	(7)
1.2.4 桥梁震害原因分析	(12)
1.3 桥梁工程的抗震设防标准	(16)
1.3.1 预防为主方针	(16)
1.3.2 桥梁的抗震设防标准	(17)
1.3.3 桥梁的抗震设防分类	(17)
1.3.4 桥梁工程的抗震设防目标	(18)
1.4 桥梁工程抗震设计流程	(19)
1.4.1 桥梁结构抗震概念设计	(20)
1.4.2 桥梁抗震体系选择	(21)
第 2 章 场地与地基	(23)
2.1 场地划分	(23)
2.1.1 场地的地震影响	(23)
2.1.2 场地的选择	(23)
2.1.3 场地类别的分类	(24)
2.2 地基的承载力	(26)
2.2.1 地基的震害特点	(26)
2.2.2 地基的抗震验算	(26)
2.3 地基土的液化和软土地基	(27)
2.3.1 地基土的液化	(27)
2.3.2 地基土的液化判别	(28)
2.3.3 液化地基的评价	(30)
2.3.4 液化地基的抗震措施	(32)
第 3 章 地震反应分析与地震作用计算	(34)
3.1 地震反应分析方法的演变	(34)
3.1.1 静力理论阶段	(34)
3.1.2 反应谱理论阶段	(35)
3.1.3 动力理论阶段	(36)
3.1.4 基于结构性能的抗震设计理论阶段	(36)
3.1.5 分析和设计方法总结	(40)

3.2	设计加速度反应谱	(40)
3.2.1	单自由度体系的弹性地震反应分析	(40)
3.2.2	地震反应谱	(42)
3.2.3	设计加速度反应谱	(45)
3.3	多自由度体系的弹性地震反应分析	(48)
3.3.1	多自由度体系的振动方程	(48)
3.3.2	多自由度体系的结构动力特性计算	(49)
3.3.3	多自由度体系的振型分解法	(50)
3.3.4	振型分解反应谱理论	(51)
3.4	基于我国《公路桥梁抗震设计细则》的地震作用计算	(53)
3.4.1	桥梁结构考虑地震作用的原则	(53)
3.4.2	常规桥梁地震作用计算	(53)
第4章	桥梁延性抗震设计	(62)
4.1	延性的基本概念	(62)
4.1.1	延性的定义	(62)
4.1.2	延性的指标	(63)
4.2	延性抗震设计方法	(66)
4.2.1	抗震设计中的材料性能	(66)
4.2.2	能力设计方法	(73)
4.2.3	塑性耗能机制的选择	(74)
4.2.4	延性构件二次设计	(74)
4.2.5	能力保护构件计算	(78)
4.3	基于我国《公路桥梁抗震设计细则》的延性抗震计算	(80)
4.3.1	强度与变形验算	(80)
4.3.2	支座抗震验算	(83)
4.3.3	延性构造措施	(84)
第5章	MIDAS/Civil 反应谱分析	(88)
5.1	MIDAS/Civil 软件简介	(88)
5.2	桥梁结构空间分析动力模型	(89)
5.2.1	模型类型	(89)
5.2.2	邻联结构的模拟方法	(89)
5.2.3	构件模拟方法	(90)
5.3	MIDAS/Civil 地震反应谱分析	(92)
5.3.1	桥梁概况	(92)
5.3.2	计算模型	(92)
5.3.3	振型分析	(96)
5.3.4	反应谱分析	(99)
5.4	基于我国《公路桥梁抗震设计细则》的桥墩抗震验算	(106)
5.4.1	E1 地震作用下抗震验算	(106)
5.4.2	E2 地震作用下抗震验算	(107)

第6章 桥梁减隔震设计	(111)
6.1 桥梁减隔震技术的基本原理	(111)
6.1.1 工作机理	(111)
6.1.2 功能要求	(111)
6.1.3 布置位置	(112)
6.2 桥梁减隔震技术的发展概况	(113)
6.3 常用的减隔震装置	(114)
6.3.1 板式橡胶支座	(114)
6.3.2 铅芯橡胶支座	(115)
6.3.3 高阻尼橡胶支座	(117)
6.3.4 滑动摩擦摆减隔震支座	(118)
6.3.5 金属阻尼器	(120)
6.3.6 摩擦阻尼器	(120)
6.3.7 液体黏滞阻尼器	(121)
6.4 基于我国《公路桥梁抗震设计细则》的桥梁减隔震设计	(122)
6.4.1 桥梁减隔震设计原则	(122)
6.4.2 减隔震装置的选择	(122)
6.4.3 性能要求与抗震验算	(123)
第7章 桥梁抗风设计	(124)
7.1 引言	(124)
7.1.1 桥梁结构风损、风毁事故	(124)
7.1.2 桥梁风工程简介	(127)
7.2 空气动力学基础	(130)
7.2.1 流体的宏观模型和物理属性	(130)
7.2.2 流场及其描述方法	(132)
7.2.3 流体运动的速度分解和运动分类	(134)
7.2.4 作用在流体微团上的力及性质	(134)
7.2.5 流体力学基本方程	(135)
7.2.6 边界层	(136)
7.3 大气边界层内的风特性	(140)
7.3.1 大气边界层	(140)
7.3.2 风的成因、分类和等级	(142)
7.3.3 近地风特性	(145)
7.4 结构上的静力风荷载与风致静力失稳	(153)
7.4.1 基本风速和基本风压	(153)
7.4.2 三分力系数	(158)
7.4.3 静力风荷载计算	(160)
7.4.4 风致静力失稳	(164)
7.5 风对桥梁的动力作用	(167)
7.5.1 桥梁颤振与驰振	(167)

7.5.2	桥梁抖振	(171)
7.5.3	桥梁涡激振动	(173)
7.5.4	桥梁拉索振动	(176)
7.6	风洞试验简介	(177)
7.6.1	边界层风洞	(178)
7.6.2	桥梁风洞试验相似准则	(181)
7.6.3	模型试验	(184)
参考文献		(189)

第 1 章 桥梁震害与抗震设防

1.1 引言

地震是一种对人类危害极大的突发性自然灾害,是地球内部某处岩层突然破裂发生振动,并以波的形式传到地表引起地面颠簸和摇晃。据统计,地球每年发生的地震约达 500 万次,除绝大多数地震由于震源深或者释放的能量小而难以觉察外,可以感觉到的地震仅占地震总数的 1% 左右,而造成灾害的强烈地震平均每年发生约 18 次。

中国处在地球上两个最活跃的地震带中间,东濒环太平洋地震带,西部和西南部是欧亚地震带所经过的地区,是地球上地震多发的国家之一。进入 20 世纪以来,地球上发生的 1 200 多次 7 级以上的地震中,有十分之一就发生在中国。例如 1976 年发生在我国河北省唐山市的里氏 7.8 级大地震,造成 24 万余人死亡、43 万余人受伤,唐山市遭到毁灭性破坏。1999 年发生在台湾集集的里氏 7.6 级大地震,是台湾岛有记录以来发生的最强烈地震,造成 2 300 多人死亡、8 000 多人受伤,各类建筑物倒塌上万间,另约 7 000 幢建筑物受到严重损伤。根据台湾公路部门的统计,地震直接造成至少 9 座桥梁严重破坏,其中包括 3 座正在施工的桥梁;另外由于断层破裂,导致 5 座桥梁倒塌,7 座桥梁受到中等程度破坏。2008 年 5 月 12 日发生在我国四川省汶川县的里氏 8.0 级特大地震,造成近 7 万人死亡、37 万余人受伤、1.7 万余人失踪,直接经济损失达 8 452 亿元。

桥梁作为重要的社会基础设施,是生命线工程中的关键部分。地震中桥梁的破坏将导致交通中断,不但会影响人们的正常生活和经济运行,并会造成严重的经济损失,而且将严重影响震后的救灾工作,使人员不能安全顺利疏散,并阻碍向灾区紧急输送救援人员和救灾物资,从而加剧地震灾害。同时,遭受破坏的大型桥梁修复起来比较困难,严重影响交通运输的尽早恢复。因此,对桥梁采取合理、有效的抗震对策,保证桥梁在地震中的安全和正常使用,对城市和地区的抗震防灾减灾工作和地震灾区的震后恢复重建工作都具有重要的意义。

桥梁结构抗震是基于总结和验证灾害发展起来的一门学科。长期以来,人们为了从地震威胁中解脱出来,不断从过去的灾害中总结经验、分析原因、吸取教训,并制定有效的抗震设防措施,以达到减轻地震损失的目的。可以说,桥梁结构抗震设计理论和技术的发展都是以沉痛的灾害教训为代价的,新的结构抗震设计标准和设计理念的确立都经历了灾后的反思、验证、总结和提高的过程。

1.2 桥梁震害

桥梁结构受到的地震影响主要有两种形式:场地运动引起的结构物振动和场地相对位移产生的强制变形。前者是以惯性力的形式将地震作用施加在桥梁结构上,后者则是支点强制变形产生的超静定内力或过大的相对变形影响桥梁结构的安全性。从结构抗震设计的

角度出发,可以将桥梁震害分为由场地相对位移引起的破坏和由结构强烈振动引起的破坏两大类。

1. 由场地相对位移引起的破坏

对于纵向延伸比较长的桥梁结构,各桥墩(台)所在的位置、地质条件往往很不相同,支点之间受到的地震动很难一致,特别是跨越断层地带、液化地基的桥梁,场地相对位移是发生落梁破坏、支座切断、梁和墩(台)结构损伤等震害现象的主要原因。一般来说,这类破坏现象是人为工程难以抵御的,因此应尽量通过场地选择避免。

2. 由结构强烈振动引起的破坏

地震时地面运动引起桥梁结构的振动,使结构的内力和变形大幅度增加,从而导致结构破坏甚至倒塌。这类破坏主要源于两方面的原因:一是结构遭遇的地震动强度远远超过设计预期的强度,结构无法抵御而破坏,这是导致结构破坏的外因;二是结构在设计和细部构造以及施工方法上存在缺陷,这是导致结构破坏的内因。

1.2.1 上部结构的震害

桥梁上部结构的震害,按照震害产生原因的不同,可分为上部结构自身的震害、上部结构的移位震害以及上部结构的碰撞震害。

1. 上部结构自身的震害

桥梁上部结构自身遭受震害而被毁坏的情形比较少见。在发现的少数此类震害中,主要是钢结构的局部屈曲破坏,如图 1-1 所示。

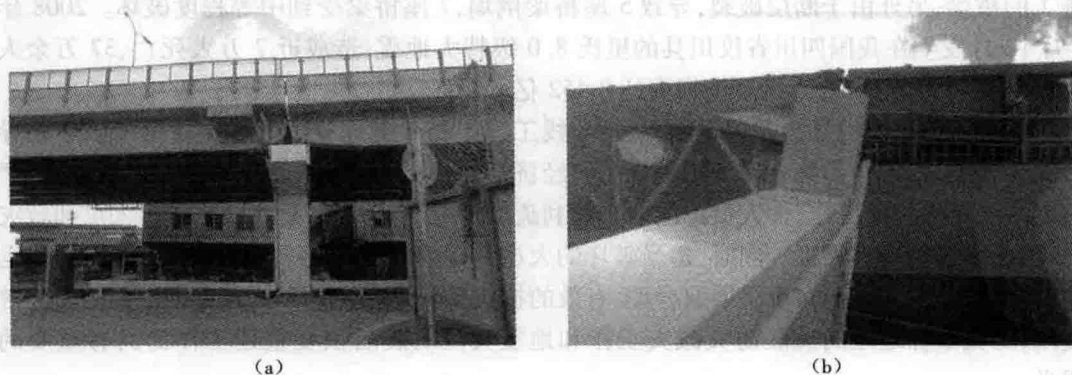


图 1-1 钢结构局部屈曲破坏

(a)中等程度破坏 (b)严重破坏

2. 上部结构的移位震害

桥梁上部结构的移位震害在破坏性地震中极为常见,这种震害表现为桥梁上部结构的纵向移位、横向移位以及扭转移位。一般来说,设置伸缩缝的地方比较容易发生移位震害,如图 1-2 和图 1-3 所示。如果上部结构的移位超出了墩、台等的支承面,则会发生更为严重的落梁震害。上部结构发生落梁时,如果撞击桥墩,还会给下部结构带来很大的破坏。在破坏性地震中,最为常见的是桥梁上部结构的纵向移位和落梁震害。桥梁支座和墩、台的毁坏也会导致上部结构的破坏。

图 1-4 是 2008 年汶川地震中寿江大桥上部结构的纵向移位震害,其左侧主梁纵向移位达到 50 cm,接近落梁。图 1-5 是汶川地震中庙子坪岷江特大桥上部结构的横向移位震



图 1-2 汶川地震某桥伸缩缝处震害

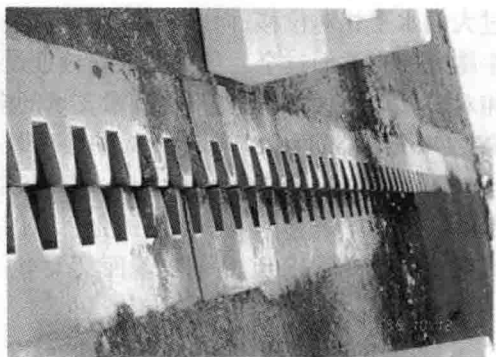


图 1-3 台湾集集地震某桥伸缩缝处震害

害,由于移位未超出支承面,所以没有发生更为严重的坠落。如果设置了挡块,桥梁横向移位会和挡块发生碰撞,导致挡块破坏。图 1-6 是白水溪大桥主梁横向移位 50 cm 导致挡块破坏,图 1-7 是庙子坪大桥的挡块破坏。



图 1-4 寿江大桥上部结构的纵向移位

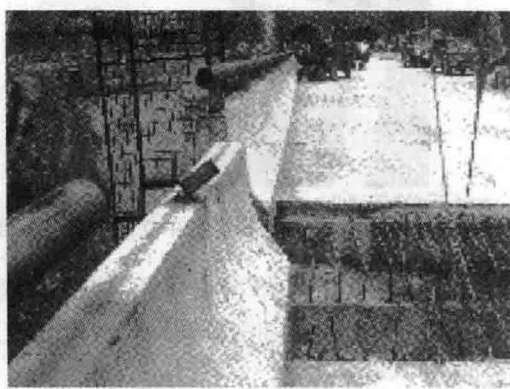


图 1-5 庙子坪岷江特大桥上部结构的横向移位

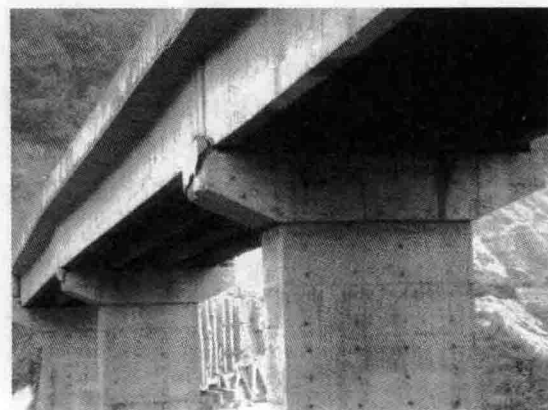


图 1-6 白水溪大桥挡块破坏

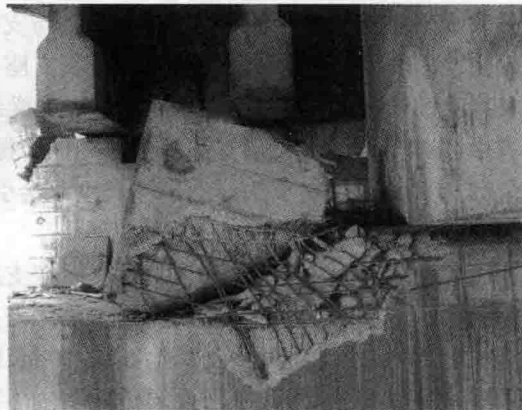


图 1-7 庙子坪大桥挡块破坏

图 1-8 是 1971 年美国圣·费尔南多 M6.7 级地震中,金州 5 号高速干道与 14 号高速公路的立交枢纽工程严重倒塌毁坏。分析部分塌落的原因,其外因主要是台墩间和桥墩间