

纪念汶川地震一周年  
地震工程与减轻地震灾害研讨会  
论文集

地震出版社

纪念汶川地震一周年  
地震工程与减轻地震灾害研讨会

论 文 集

PROCEEDINGS OF CONFERENCE ON EARTHQUAKE  
ENGINEERING AND EARTHQUAKE DISASTER REDUCTION

— the 1st Anniversary of Wenchuan Earthquake

地 震 出 版 社

**图书在版编目 (CIP) 数据**

纪念汶川地震一周年：地震工程与减轻地震灾害研讨会论文集/中国地震工程联合会等编。  
—北京：地震出版社，2009.10

ISBN 978-7-5028-3627-6

I. 纪… II. 中… III. ①地震工程-学术会议-文集 ②地震灾害-灾害防治-学术会议-文集 IV. P315.9-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 178542 号

**地震版 XT200900211**

纪念汶川地震一周年

**地震工程与减轻地震灾害研讨会论文集**

责任编辑：王 伟

责任校对：宋 玉 庞娅萍 孙铁磊

---

出版发行：地震出版社

北京民族学院南路9号

邮编：100081

发行部：68423031 68467993

传真：88421706

门市部：68467991

传真：68475803

总编室：68462709 68423029

传真：68467972

工程图书出版中心：68721991

E-mail: 68721991@sina.com

经销：全国各地新华书店

印刷：九洲财鑫印刷有限公司

---

版 (印) 次：2009 年 10 月第一版 2009 年 10 月第一次印刷

开本：889 × 1194 1/16

字数：1649 千字

印张：57.25

印数：0001 ~ 2000

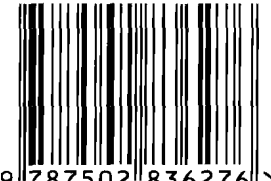
书号：ISBN 978-7-5028-3627-6/P (4246)

定价：300.00 元

版权所有 翻印必究

(图书出现印装问题，本社负责调换)

ISBN 978-7-5028-3627-6



9 787502 836276 >

## 主办单位

中国地震工程联合会

中国建筑学会抗震防灾分会

中国地震学会地震工程专业委员会

黑龙江恢先地震工程学基金会

## 承办单位

中国地震局工程力学研究所

中国建筑科学研究院工程抗震研究所

四川省地震局

## 学术委员会

主任：谢礼立

顾问：胡聿贤 陈厚群 林 皋 张楚汉 范立础 廖振鹏  
周锡元 周福霖 欧进萍 黄 卫

副主任：王亚勇 齐霄斋 吴耀强 孙柏涛 黄世敏 田 文

委员（按姓氏笔划）：

牛荻涛	王兰民	王永维	王自法	王君杰	王翠坤
冯 远	叶列平	叶燎原	白国良	刘汉龙	刘伟庆
刘伯权	刘晶波	吉随旺	吕西林	孙景江	孙福梁
张敏政	李 乔	李 明	李 杰	李 惠	李 慧
李小军	李山有	李宏男	李国强	李忠献	李英明
李爱群	杜 玮	杜永峰	杜修力	杨 沈	杨庆山
汪小刚	肖 岩	苏经宇	陆 鸣	陈云敏	陈宁生
陈国兴	周 云	周炳章	尚守平	苗崇刚	姚谦峰
胡春峰	茹继平	闻学泽	徐 建	徐礼华	聂建国
袁一凡	袁晓铭	郭 迅	钱家茹	陶夏新	高大伦
崔 杰	黄宗明	黄润秋	彭土标	温增平	程绍革
葛学礼	薄景山	霍 达	瞿伟廉		

## 组织委员会

主任：孙柏涛 黄世敏

副主任：杜 玮 贾 抒 李山有 杨 沈

委员（按姓氏笔划）：

孔繁钰	王 菁	王兆荣	任兆祥	刘如山	刘志刚
张明宇	张雪涛	苗启松	翁大根	郭子雄	程绍革
雷建成	薛彦涛				

秘书：朱晓力 罗 靖 白 冰 李 伟 赵丽梅 李恩来

## 前 言

工程震害经验是发展抗震理论、改进抗震技术、修订抗震规范的重要基础，是以生命和巨额经济损失为代价留给后人的宝贵财富。2008年5月12日汶川8.0级特大地震发生后，各行业、各部门组织了大批工程技术人员和专家学者前往灾区，参加抢险救援、抗震救灾及科学考察等工作。他们在完成各项抢险救灾工作任务的同时，也调查获得了大量的工程震害调查资料。通过对这些调查资料的整理分析和初步研究，获得了大量相关研究成果。

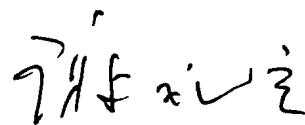
为纪念汶川地震中死难的同胞，交流汶川大地震中工程震害调查及其相关研究成果，总结经验与教训，谋划防震减灾对策，在中国地震局、住房和城乡建设部、国家自然科学基金会的支持下，中国地震工程联合会、中国建筑学会抗震防灾分会、中国地震学会地震工程专业委员会、黑龙江恢先地震工程学基金会于2009年5月8~11日在四川省成都市联合召开了“纪念汶川地震一周年：地震工程与减轻地震灾害研讨会”。

中国地震局修济刚副局长、中国地震工程联合会谢礼立理事长、黑龙江恢先地震工程学基金会齐霄斋理事长、中国地震局震害防御司杜玮副司长、国家自然科学基金会茹继平处长、四川省地震局吴耀强局长、中国地震局工程力学研究所孙柏涛副所长、中国建筑科学研究院工程抗震研究所黄世敏所长以及林皋院士、周锡元院士、欧进萍院士、周福霖院士等260余名会议代表出席了研讨会。谢礼立、林皋、周福霖、欧进萍、王亚勇、吕西林、黄润秋、孙柏涛、彭土标、庄卫林、袁一凡、冯远、李小军、黄世敏等14位专家学者应邀作大会报告，李国强等88名专家学者分别在分会场作报告。在研讨会上，还进行了“汶川地震标志性震害照片”评选。

本论文集汇编了在这次研讨会上发表的学术论文，内容涉及汶川地震的经验与教训，地震地面运动特征与数值模拟，场地地震效应与地震

地质灾害，建（构）筑物震害，生命线工程震害，地震应急救援，抗震设计与规范规程，抗震减震防灾新技术，建筑抗震鉴定和加固技术，灾区震后恢复、重建规划研究，提高城镇防震减灾能力的新理论和新方法等。

这次研讨会的成功召开是和全体与会代表和承办单位的大力支持分不开的，在此，我谨代表研讨会主办单位向全体与会代表表示衷心的感谢，向承办单位与工作人员以及为论文集出版做出贡献的单位与人员表示衷心的感谢！



2009年7月，哈尔滨

# 中国地震局修济刚副局长在研讨会开幕式上的讲话

同志们：

在汶川地震一周年纪念日的前夕，由中国地震工程联合会主办的《地震工程与减轻地震灾害研讨会》今天在成都开幕了。首先，请允许我代表中国地震局，向前来参加本次研讨会的各位院士和专家学者表示热烈的欢迎，向精心筹备此次研讨会的中国地震局工程力学研究所、中国建筑科学研究院工程抗震研究所、四川省地震局、四川省建设厅表示衷心的感谢。

汶川地震是新中国成立以来破坏性最强、波及范围最广、救灾难度最大的地震，它既是我国防震减灾工作面临的空前的挑战，也为推动地震科学，包括地震工程学的发展带来难得的机遇。中国地震局和各部门密切配合，在震后第一时间开展了应急救援、余震监测、震害损失调查、地震烈度评定等工作，还适时组织了由地震系统内外数百名专家参加的系统性科学考察，调查、收集了大量的第一手资料，为后续的地震科学研究奠定了坚实的基础。同时，我们也加强了汶川地震相关科学问题的研究工作，一是牵头组织申请了国家 973 计划项目《汶川地震发生机理及其大区动力环境研究》，前两年的批准经费投入就达 4164 万元；二是拟在地震行业公益性科研专项中设立《汶川 8.0 级地震工程震害研究及震害数据库建设》的重点项目，经费投入预计超过 1000 万元。通过这些重大科研项目的设立，希望能对汶川地震的发生机理、工程破坏机理等等有更加深入的认识，从而促进我国防震减灾事业的进步和发展。

汶川地震导致了大量的建筑物、工程设施、生命线系统的破坏，震后各系统的专家都及时到现场进行了调查，积累了大量的震害资料。这些资料是以数万人的生命和数千亿人民币的损失为代价换来的，应该进行系统的整理和认真的总结。为此，许多专家强烈呼吁要借鉴《唐山大地震震害》的成功经验，着手组织编撰《汶川大地震震害》。中国地震



局正在积极与有关部门协商，共襄此举，希望各方专家全力支持、积极参与。

同志们，汶川地震造成的损失十分惨重，教训非常深刻。但是，在伟大抗震救灾精神的鼓舞下，我们坚持以预防为主的防震减灾工作方针、努力减轻地震灾害的信心和决心不会动摇。党中央、国务院对防震减灾工作作出了一系列重要部署，对科技在防震减灾中的支撑作用也更为强调，地震工程界的广大科技工作者将大有可为。

历次大地震给我们留下了深刻的教训，其中非常重要的一条是，必须将有效提高建筑物和各类工程设施的抗震能力作为综合防御、减轻地震灾害的主要途径，必须不断增加防灾投入、改进抗震技术，以适应经济社会发展、百姓安居乐业的需要。

希望地震工程界不辱使命、不负众望，努力提升工程抗震的科技水平。一方面，要大力推进地震工程领域的科技创新，不断深化对地震作用及结构破坏机理的认识，丰富和拓展结构抗震理论，发展新材料、新技术和新的抗震结构体系；另一方面，更要积极投身于全面提高各类工程抗震能力的实践，与工程设计和施工紧密结合，提高工程技术人员掌握规范、合理运用先进抗震技术的能力，特别是要积极加入到灾区恢复重建工程、全国中小学校舍安全工程、农村民居地震安全工程等社会关注的民生工程中去。

最后，希望这次研讨会能对汶川地震震害研究及地震工程研究的最新进展进行深入交流，推动防震减灾科学技术的发展。

预祝会议圆满成功！

修洛刚

二〇〇九年五月九日

# 目 录

## 专题报告

大坝抗震性能与抗震设计 ..... 林 皋 (3)

## 一、地震动与地震地质灾害

根据有限断层混合震源模型预测汶川大地震的峰值

加速度分布 ..... 陶夏新 刘海明 孙晓丹等 (17)

黄土地基震陷和液化时桩基的抗震设计方法 ..... 王兰民 莫 庸 (25)

汶川 8.0 级地震震害指数调查与场地影响研究 ..... 孙平善 (32)

Fault-fling Effect from the Near-source Strong-Motion Records of the Great 2008

Wenchuan Earthquake in China ..... Ming LU John X. ZHAO Ya Min ZHAO (41)

汶川  $M_s$ 8.0 地震中的山脊地形效应

——自贡西山公园典型事例 ..... 周正华 王玉石 王 伟等 (58)

汶川 8.0 级地震地表破裂迹线附近建筑物的震害分布 ..... 赵纪生 吴景发 师黎静等 (65)

汶川  $M_s$ 8.0 地震发震断层对非发震断层影响分析 ..... 赵纪生 王 伟 吴景发等 (77)

汶川  $M_s$ 8.0 地震地表迹线处建筑物重建的避让距离 ..... 赵纪生 吴景发 师黎静等 (89)

汶川 8.0 级地震加速度记录数据处理与分析 ..... 于海英 王 栋 杨永强等 (99)

汶川大地震液化问题初探 ..... 曹振中 袁晓铭 孙 锐等 (107)

汶川地震地震动峰值加速度衰减特性分析 ..... 刘 浪 李小军 (112)

汶川  $M_s$ 8.0 地震加速度记录特征 ..... 王玉石 周正华 李小军等 (121)

浅谈汶川地震的盆地效应 ..... 郭 恩 周锡元 (128)

汶川地震诱发崩滑及震后应急快速评估方法研究 ..... 王秀英 聂高众 (139)

远场长周期地震作用及其特殊性 ..... 徐龙军 谢礼立 (144)

竖向地震动加速度峰值统计特征 ..... 李 恒 黄 江 罗登贵 (150)

“5.12”汶川地震九环线江油至平武段震害分析 ..... 孙作玉 王 晖 张永山等 (157)

一种非线性体系的动力可靠度计算新方法 ..... 刘 佩 姚谦峰 (163)

基于加速度台阵的近震震相识别方法 ..... 刘 平 彭凌云 马 华 (169)

防御地震次生地质灾害的对策——以厦门为例 ..... 林树枝 黄建南 (176)

地基岩土的差异性对地震的不同响应 ..... 林 梁 (183)

显式积分格式对局部透射边界高频失稳抑制作用的定量分析 ..... 唐 晖 李小军 (187)

汶川地震中的几处地形效应调查及建议 ..... 周国良 王玉石 彭小波等 (194)

地震应急管理成熟度模型与其结构的研究 ..... 刘艳琼 赵纪生 (201)

## 二、建(构)筑物震害调查与分析

屈曲约束支撑框架与普通支撑框架的比较研究 ..... 李国强 孙飞飞 陈素文等 (209)

汶川地震中擂鼓镇城区教育系统建筑震害分析 ..... 孙柏涛 周 强 (218)

强震作用下钢筋混凝土结构累积损伤分析 ..... 滕 军 李祚华 涂胡兵等 (228)

剪力墙连梁阻尼器的大震设计理论与试验研究 .....	滕 军 马伯涛 李卫华等	(235)
汶川地震Ⅷ度和Ⅶ度区城市房屋震害及本次地震若干典型		
震害讨论 .....	孙景江 唐玉红 孙忠贤等	(241)
汶川地震中都江堰市城区建筑物震害遥感对比分析 .....	王晓青 窦爱霞 丁香等	(252)
改进框架结构抗震性能的新途径和新方法 .....	周 云 吴从晓 陈 真等	(257)
非结构构件抗震性能分析 .....	卢文胜 黄宝锋 黄连金	(265)
近断层地震作用下隔震结构的响应分析 .....	杜永峰 朱前坤 李 慧	(270)
从汶川地震反思建筑结构的地震安全性、易损性和		
鲁棒性 .....	吕大刚 于晓辉 宋鹏彦等	(276)
基于抗震可靠度解析表达式的结构概率地震风险评定 .....	吕大刚 贾明明 于晓辉等	(288)
汶川地震单层钢筋混凝土厂房结构震害与对策 .....	赵 斌 吕西林	(296)
隔震建筑的震后调查 .....	李 皓 彭 妮 孙红虎	(303)
汶川地震陕西震害初探 .....	刘力平 陈绪辉 侯小玲等	(308)
地面三维激光扫描在地震现场建筑物震害调查中的		
初步应用 .....	王 龙 董艳芳 郑友华等	(316)
考虑楼梯整体建模对结构抗震性能的影响 .....	王 斌 蒋欢军	(322)
城市埋地燃气管道概率地震需求分析 .....	张 鹏 李 伟	(328)
汶川地震中都江堰房屋建筑的失效模式与机理分析 .....	孙爱伏 侯 爽 林 迟等	(334)
汶川大地震震害特点与成因分析 .....	郭 迅	(346)
基于模态 Pushover 分析结构体系抗震可靠度 .....	侯钢领 孙 海 梁立孚	(362)
“5.12”汶川地震陇南地区房屋震害调查分析 .....	李慧明 崔 杰 朱 勇	(372)
汶川地震灾区学校建筑的震害分析 .....	林树枝	(378)
从汶川地震震害谈建筑结构抗连续倒塌设计方法 .....	张树传 谢益人 肖 伟等	(383)
新型全钢防屈曲支撑的开发与抗震性能试验 .....	赵俊贤 吴 斌 欧进萍	(393)
震后受损混凝土结构抗震鉴定方法探讨 .....	淡 浩 张 瀑 鲁兆红	(400)
汶川 8.0 级地震德阳市城区房屋震害分析 .....	王秋良 秦小军 张丽芬等	(405)
结构体系欠佳的建筑物的震害分析及加固建议 .....	谢益人 林树枝	(410)
底部框架砖房的震害分析及设计建议 .....	刘艳辉 赵世春 黄云德等	(415)
关于汶川地震结构整体性抗震问题 .....	金 波 张敏政 郭 迅等	(420)
汶川 8 级地震的震害指数特征分析 .....	彭小波 李小军 刘启方等	(426)
框架填充墙震害引发的对部分规范条文的探讨 .....	吴 体 王 磊 高永昭	(433)
保证房屋“大震不倒”抗震对策探讨 .....	莫 庸 韩丽霞	(440)
“5.12”大地震中高、低烈度区框架结构震害规律对比分析及		
抗震设计探讨 .....	莫 庸 韩丽霞 金德保	(446)
砖混结构抗震能力储备的量化表达与影响因素分析 .....	赵世春 刘艳辉 张 杨等	(456)
现有校舍抗震鉴定和汶川地震学校建筑震害 .....	史铁花 杨晓波 程绍革	(462)
原型结构试验与震害调查对比分析 .....	雷 拓 钱 江 吕西林	(468)
框架结构梁柱线刚度比对“强柱弱梁”的影响探讨 .....	张 晖 李亚明	(476)
汶川 8.0 级地震对砖烟囱等高柔结构的影响 .....	张丽芬 魏贵春 王秋良等	(480)
混凝土结构抗震加固方法的思考 .....	张 瀑 鲁兆红 淡 浩	(486)
配筋砌体结构主余震地震反应影响因素初步分析 .....	于德湖 马安东 张 杰	(490)
汶川地震填充墙对结构整体抗震能力的影响分析 .....	杨 伟 侯 爽 欧进萍	(496)
通过结构优化设计提高房屋抗震性能 .....	肖 伟	(504)

承载力控制设计的高层耗能墙体系 .....	孙飞飞	新晓雷	(510)
汶川地震灾区部分房屋的施工质量分析 .....	林树枝	廖文彬	(517)
汶川地震后应急避难场所建设的对策研究 .....	林树枝	黄建南	(523)
钢筋混凝土柱—钢梁柱贯穿型梁柱节点抗震性能试验研究 .....	黄俊	徐礼华	戴绍斌 (528)
汶川地震都江堰市填充墙震害分析 .....	侯爽	杨伟	欧进萍 (533)
四川汶川 8.0 级地震农居震害调查 .....		余世舟	(539)
对四川绵阳震区房屋加固及质量监督工作的思考 .....		陈隽峰	(546)
汶川地震德阳市砖混结构房屋震害特征及其抗震措施 .....	陈圆圆	王秋良	余敏等 (550)

### 三、生命线工程震害调查与分析

汶川地震中供水管网系统破坏调查和震后重建研究 .....	李杰	刘威	陈隽 (557)
长距离油气管道地震破坏机理研究 .....	周晶	李昕	张凤君 (565)
汶川地震供水管道震害分析 .....	郭恩栋	王祥建	张丽娜等 (576)
汶川 8.0 级地震绵竹市公路震害调查分析 .....	林均岐	陈永盛	王杰等 (583)
汶川地震四川电网震害调查与分析 .....	刘如山	邬玉斌	张美晶等 (590)
汶川地震滑坡特点与阿坝移动通信系统震害关系分析 .....		吕红山	(597)
汶川大地震通信工程设施震害调查与分析 .....	黄维学	汲书强	周金荣 (602)
汶川地震中陇南公路总段桥梁震害及易损性分析 .....	杜鹏	姜慧	王东明 (608)
汶川地震电气设备震害分析与建议 .....	尤红兵	田学民	赵凤新 (617)
从汶川地震震害中探讨通信网络抗震防灾的保障措施 .....		汲书强	周金荣 (622)
典型单洞公路隧道震害机制数值仿真分析 .....	禹海涛	袁勇	柳献等 (628)
汶川地震中拱桥震害现象与分析 .....		黄勇	(639)
高拱坝损伤分析与基于横缝开裂的抗震设计 .....	徐轶慷	姚霄雯	蒋建群 (645)
汶川地震燃气管网震害分析 .....	王祥建	郭恩栋	张丽娜等 (652)
汶川 8.0 级地震电站震害调查分析 .....	邬玉斌	刘如山	张美晶 (661)
汶川地震土石坝震害影响因素初探 .....	李永强	景立平	陈国兴 (668)

### 四、抗震加固与其他

四川汶川地震灾区农村住宅恢复重建中存在的主要问题 .....	葛学礼	朱立新	于文等 (677)
密肋耗能墙在高层框架抗震加固中的应用研究 .....	姚谦峰	郭猛	夏雷 (682)
具有多道抗震防线的密肋复合墙耗能减震结构理论与 应用研究 .....	姚谦峰	夏雷	熊耀清等 (687)
随机地震动模型研究与应用的探讨 .....	姚谦峰	刘佩	(694)
我国地震防灾避难所的历史沿革 .....		苏幼坡	(699)
汶川地震人员伤亡评估 .....	赵振东	崔迪	余世舟等 (706)
地震灾区房屋结构快捷加固的新工艺与新材料 .....	胡克旭	郭建明	刘春浩等 (711)
汶川地震典型震害分析与加固关键技术 .....	王凤来	陈再现	(716)
“5.12”大地震后首例消能减震技术加固实例——采用阻尼器对都江堰市北街 小学外国语学校艺术大楼的加固设计和施工 .....	任思泽	韩家军	佟建国 (722)
“5.12”大地震震害启示与加固设计施工过程 .....	李刚	刘涛	佟建国 (729)
密肋生态复合墙结构在汶川地震灾后重建中的应用 .....	黄炜	唐强	张荫等 (743)
消能减震加固措施在震后多层框架中的应用 .....	翁大根	曾爽	吕西林等 (749)
汶川地震灾区民众避震逃生与自救互救情况调查 .....	尚红	李亦纲	吴建春等 (759)

应用“强柱”加固理念, 加快都江堰重建步伐·····	闵 强	(768)
完善我国地震应急管理运行机制的若干措施·····	吴兆营 姜亭琪	(776)
地震灾害应急建筑工程项目管理策略研究·····	韩 能 刘红勇 韩 侠	(781)
基于全局最优盲源分离算法的模态参数识别·····	张晓丹 姚谦峰 刘 佩	(787)
关于地震定位精度的误差和影响因素的探讨·····	邹 琼 王恒希 吴建超	(793)
汶川地震与阪神地震震害比较分析·····	余 敏 王秋良 陈圆圆等	(797)
灾后重建与隔震加固技术·····	吴国庆 佟建国	(801)
汶川 $M_s8.0$ 地震强余震库仑破裂应力触发研究·····	吴建超 陈蜀俊 蔡永建	(806)
地震现场应急通信演练科目的探讨·····	吴楠楠	(813)
以汶川地震为例探讨山区抗震防灾对策·····	王恒希 李秋金 邹 琼等	(817)
基于短信息地震灾情识别模型及系统设计·····	王东明 李 民 张 鹤 等	(821)
地震次生地质灾害的分析及防治对策·····	林树枝 蔡志灵	(828)
汶川大地震后城乡防灾与救灾策略探讨·····	林树枝 张鹏程	(835)
从政策层面浅谈抗震设防分类标准·····	李绍祥	(842)
减轻地震震害的几点思考·····	廖文彬 林树枝	(847)
某工业学校建筑震害调查与分析·····	廖文彬 何庆丰 谢益人等	(853)
汶川地震都江堰市多龄期建筑的震害特征·····	林 迟 侯 爽 欧进萍	(860)
汶川地震都江堰市建筑震害空间分布及影响因素·····	贾俊峰 侯 爽 欧进萍	(869)
汶川 8.0 级特大地震社会问题探讨·····	洪海春	(876)
汶川地震震害调查及一些震害现象分析·····	李 敏 李小军	(882)
有限运力条件下地震救灾物资调度模型及方法·····	林 欣 李鸿晶	(891)

# 专 题 报 告



# 大坝抗震性能与抗震设计\*

林 皋

(大连理工大学 辽宁大连 116024)

**摘要** 汶川地震震级高, 破裂持续时间长, 影响范围广, 造成灾害严重。在地震影响区内建有大、中、小型水库各种类型水坝 35601 座, 其中四川境内 6678 座。水坝经受的地震烈度范围自 V ~ XI 度。这是对大坝抗震性能的一次比较全面的检验。论文结合近期国内外大地震中大坝性能表现的有关资料, 分别对土石坝和混凝土坝等的抗震性能、抗震安全性评价的内容和方法以及评价标准进行了一定的论述, 并对大坝抗震规范的修订提出了看法和建议。

**关键词** 混凝土坝; 土石坝; 抗震性能; 抗震设计

## 1 引言

2008 年 5 月 12 日发生的汶川地震, 震级高达  $M_s = 8.0$ , 震源破裂长度约 300km, 破裂持续时间约 90s, 造成的灾害严重。地震影响区四川、重庆、陕西、甘肃、云南、贵州、湖北、湖南等 8 省市共建有大、中、小型水库各种类型水坝 35601 座, 有震害的水库 2473 座。其中四川省水库 6678 座, 有震害的水库 1803 座。水坝所经受的地震烈度自 V ~ XI 度, 可以认为这是对水坝抗震性能的一次比较全面的检验。值得指出的是, 虽然有 69 座小型水库土坝出现了溃坝险情, 还没有一座水坝由于地震作用而垮坝。遭受强震作用的 70m 以上大坝计有 6 座, 它们是: X 度区的紫坪铺面板堆石坝 ( $H = 156\text{m}$ ); IX 度区的碧口黏土心墙土石混合坝 ( $H = 101.8\text{m}$ ) 和通口碾压混凝土重力坝 ( $H = 71.5\text{m}$ ); VIII 度区的沙牌碾压混凝土拱坝 ( $H = 130\text{m}$ ) 和宝珠寺混凝土重力坝 ( $H = 132\text{m}$ ); VII 度区的水牛家碎石土心墙堆石坝 ( $H = 108\text{m}$ )。其中紫坪铺坝和沙牌坝为世界上经受过强震作用的最高面板堆石坝和最高拱坝, 应当认为, 它们为世界坝工抗震技术的发展作出了有意义的贡献。汶川地震影响区内还建有许多混凝土闸坝, 闸高一般 20 ~ 30m, 经受的地震烈度高达 X ~ XI 度。对闸坝的抗震性能展示了比较全面而又丰富的资料。震害比较严重的主要是小型水库的水坝, 而且绝大部分是土石坝, 坝高 10 ~ 15m 以下, 少数超过 20m。四川省大部分地区烈度在 VI 度以上, 最高烈度 XI 度, 有震害水库 1803 座, 其中, 有溃坝险情的水库 69 座全部在四川境内。陕西、甘肃两省, 部分靠近四川的地区, 烈度 VI ~ VII 度, 极少数地区烈度达到 VIII 度。两省有震害水库分别为: 陕西 126 座, 甘肃 81 座。重庆市与四川接壤的若干区域烈度达到 VI 度, 有震损水库 352 座。

我们将根据汶川地震中大坝的表现和震害, 结合国内外多次大地震中大坝的表现对大坝的抗震性能和抗震安全性进行一定的分析。

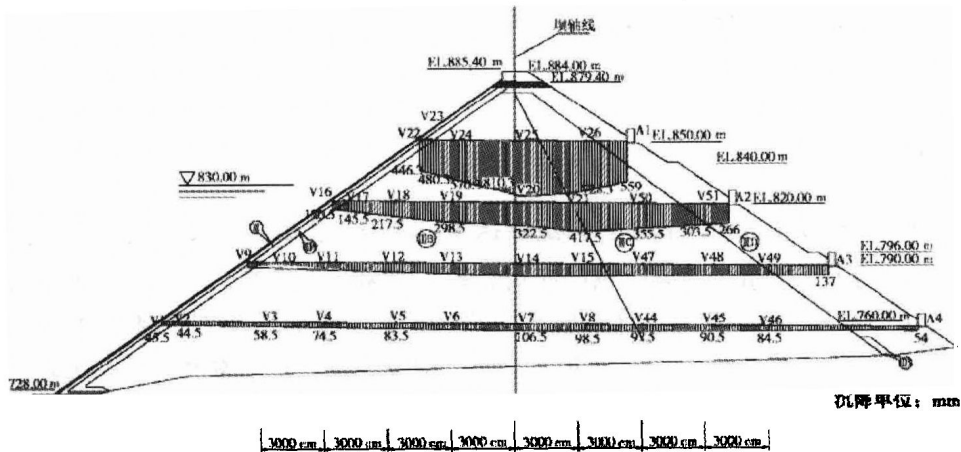
\* 国家自然科学基金资助 (重点项目 90510018)。



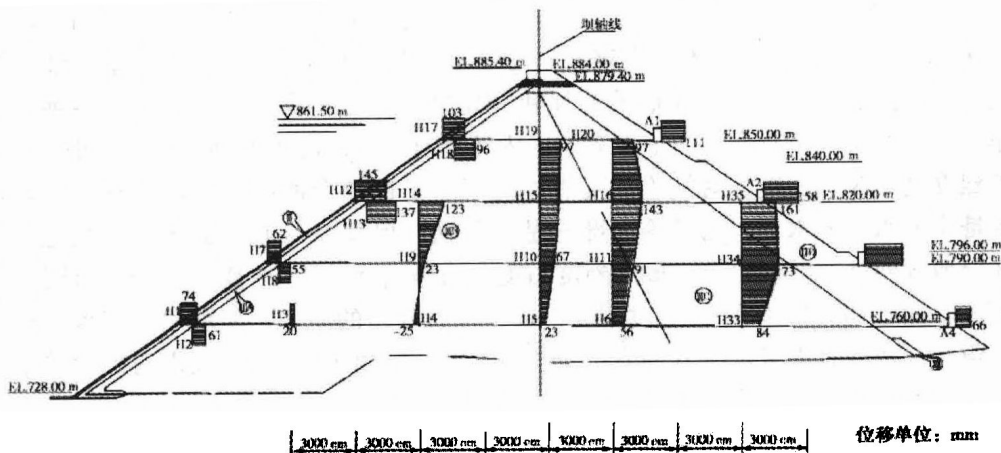
## 2 汶川地震中大坝的典型表现与震害

### 2.1 面板堆石坝的震害

面板堆石坝以紫坪铺坝为代表。该坝坝高 156m，汶川地震时距震中 17km，距主断裂 8km，原设计地震加速度 0.26g，汶川地震时坝址地震烈度高达 X 度，根据坝上若干测量的实测的地震记录估计，坝基加速度在 0.5g 左右。大坝的正常蓄水位为 877m，地震时水位 830m。坝没有发生对其安全产生重要威胁的震害。大坝的表现与震害有以下几方面：①较大的地震变形（图 1），850m 高程处测得地震后最大沉降量达 810.3mm，854 高程处向下游方向的水平位移达到 270.8mm，坝顶指向河谷中央最大水平位移达 226.1mm。②面板发生错台，局部脱空与挤压破碎。大坝 845 高程面板二、三期施工缝结合部位发生错台，错台高差多数可达 150mm，最大值 35cm（图 2）；845 高程以上面板大面积脱空，最大值达 23mm；陡峭左岸坝肩处 5\*~6\*面板与河床中部 23\*~24\*面板结构缝严重挤压破碎（图 3）。③面板与河岸相接的周边缝发生错位，最明显的是右坝肩靠近河床底部 745 高程处的三向侧缝计测得的接缝沉降、张开与剪切位移分别从震前的 10.82、6.03 和 9.08mm 增至震后的 53.86、34.89 和 58.39mm，其中剪切位移在震后第二天又迅速增至 104.24mm。④坝顶下游栏杆大范围倒塌，渗水量则略有增加。



(a) 大坝地震沉降沿高程分布



(b) 大坝水平地震位移沿高程分布

图 1 紫坪铺坝地震变形