



汶川

地震灾区

大中型水电工程 震损调查与分析

● 晏志勇 王 斌 周建平 等 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn



汶川

地震灾区

大中型水电工程 震损调查与分析

● 晏志勇 王 斌 周建平 等 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书翔实记录了汶川地震后灾区大中型水电工程的震损情况及所进行的初步分析评价。全书内容包括：汶川地震发震构造及影响范围、地震地质灾害特征，震区 22 座大中型水电站建设概况和震损调查情况，震损调查成果及初步分析，总体评价、分析、结论和建议，以及现场工程照片约 400 幅。

本书是广大读者了解汶川地震灾区水电工程震损震害和恢复建设真实情况的重要资料，也是水利水电工程界从事防震抗震科研、设计、施工及运行管理的广大技术人员，以及高等院校相关专业师生的宝贵参考资料。

图书在版编目（C I P）数据

汶川地震灾区大中型水电工程震损调查与分析 / 晏志勇等编著. — 北京：中国水利水电出版社，2009.10
ISBN 978-7-5084-6924-9

I. ①汶… II. ①晏… III. ①水利工程—震害—损失—调查研究—汶川县②水力发电工程—震害—损失—调查研究—汶川县 IV. ①P315.9②P316.271.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第191883号

书 名	汶川地震灾区大中型水电工程震损调查与分析
作 者	晏志勇 王斌 周建平 等 编著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路 1 号 D 座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	184mm×260mm 16 开本 33.75 印张 638 千字
版 次	2009 年 10 月第 1 版 2009 年 10 月第 1 次印刷
印 数	0001—2000 册
定 价	150.00 元

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

《汶川地震灾区大中型水电工程震损调查与分析》

领 导 小 组 名 单

组 长 王 斌

副组长 周建平

成 员 梁武湖 贾金生 张宗玟 张博庭 章建跃
白俊光 高希章

顾 问 组 名 单

潘家铮 丁国瑜 胡聿贤 谭靖夷 马洪琪 张楚汉
林 皋 朱伯芳 陈厚群 陆佑楣 张超然 王思敬
曹楚生 陈祖煜 曹克明 高安泽 王柏乐 刘克远
李文纲 张裕明 汪一鹏 刘光勋 高孟潭 陈国星
徐锡伟

编辑委员会

主 任 晏志勇 王 斌

委 员 梁武湖 贾金生 张宗玖 张博庭 王柏乐
周建平 彭土标 党林才 赵 琨 高希章
章建跃 白俊光

审 稿 周建平 王柏乐 彭土标 党林才 赵 琨
高希章 章建跃 白俊光 李 昇

校 稿 周建平 彭土标 杨泽艳 戴康俊 严永璞
李福云 杨志刚 翟迎春 陈秋华 杨跃东
袁志勇 温彦峰 杜效鹤 张大成 吴立新
裴彦青

编 写 杨泽艳 李福云 范俊喜 戴康俊 王润玲
林朝晖 贾俊田 王继琳 任久明 陈秋华
翟迎春 胡良文 王 军 刘荣丽 杜效鹤
杜小凯 刘 勇 蒋遼超 梁健龙

主要工作单位及人员

水电水利规划设计总院

王 斌	周建平	彭土标	党林才	赵 琨	郑新刚	赵厉涛
杨泽艳	李福云	袁建新	范俊喜	戴康俊	王润玲	林朝晖
贾俊田	杨志刚	王继琳	刘荣丽	牛文彬	杜效鹄	杜小凯

中国水电顾问集团成都勘测设计研究院

章建跃	陈五一	职小前	王仁坤	刘 勇	陈万涛	黄彦昆
张泽武	蒋 峰	陈光明	王小珊	胡永胜	李西瑶	庞家林
熊礼奎	陈秋华	张 琦	郑岳岷	庞芝碧	廖明亮	何绍明
姚昌杰	杨光伟	黄 煌	王耀辉	刘国勇	施裕兵	李旭东
孙文彬	孙凌海	乐成军	张 团	陈东升	陈子海	任久明
王旭红	曹 荣	贾 刚	易乃厚	刘天德	木基伟	陈向东
牟 林	童 伟	李大杨	郑利群	杨 敬	谭可奇	张运达
王 剑	彭文明	常六云	王福春			

中国水电顾问集团西北勘测设计研究院

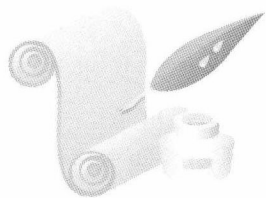
白俊光	严优丽	安盛勋	陈洪天	吕生第	王康柱	冯兴中
翟迎春	钱应德	蔡云鹏	陆栋梁	陈永福	贾 莉	魏 鹏
张 云	蔡智云	赵晓光	黄 坚	黄耀华	滕彦飞	蔺蕾蕾
徐长明	陈树联	顾永明	廖永平	沈维耘	杨发军	苟富民
李红帅	李 岗	方寒梅	朱增兵	王 涛	郭会川	

四川省水利水电勘测设计研究院

罗 健	高希章	陆恩施	杨志宏	翟 旻	陈惠君	何 平
胡良文	杜 鹏	郭志兵	陶 洪	刘裕泉	魏 萍	陈 军
韦雅萍	陶万阔	周 雄	雷 霆	叶纪刚	王文斌	徐 健
兰思勇	陶 洪	黄健民	宋 果			

四川清源工程咨询有限公司

詹国强	王 军	严伟国	袁志勇	徐新生	刘良春	陈清波
陈爱芬	何建平	卢培灿	李 文	唐义友	蒋虎彬	



序

汶川特大地震是历史上罕见的地震巨灾。伤亡之重、损失之大、影响之广，震惊世界。在不到 30 年的时间，中国连续遭受了唐山和汶川两次特大地震，是国殇民难。但是“多难兴邦”，在大灾难中，我看到了灾区人民不屈不挠、可歌可泣的战斗精神，看到党和政府采取了果断、有效、透明的决策和措施，看到全国军民紧密团结，一方有难，八方支援，争先恐后投入抗震救灾的感人事迹，同时，我还看到境外骨肉同胞、友好邻邦和各国政府与人民对灾区表现出来的深切关怀，他们伸出援助之手，为我们的抗震救灾提供了大量、及时、真诚和可贵的援助。这使我深深感受到“血浓于水”的骨肉同胞情谊，感受到世界人民对中国的真诚友谊。种种催人泪下感人肺腑的现实使我坚信，灾区必将重新建起更加美好的家园。我更坚信，任何灾害摧毁不了历经千磨百劫、已经崛起于世界的中国人民，任何灾害阻挡不了中华民族伟大复兴的步伐。

震区水坝若在地震中出事，必将引发严重的次生灾害，因此，地震发生时，我虽因手术卧在病床上，且年逾耄耋，不能亲去现场，但我无法不关心。老部长钱正英同志也来电话、送资料，鼓励我做些调研工作。我唯一能做的是阅读一些资料，分析研究大坝和水电站的损毁情况，并为今后修复与续建提出一些建议。这是一位老水电工程师能够做到的最大努力了。我要感谢中国水电工程顾问集团公司（水电水利规划设计总院）多次提供震区水利水电工程震损的第一手资料，使我能够及时了解工程的震损程度和恢复情况，思考一些问题。

汶川特大地震后，水电水利规划设计总院迅速根据国家发展和改革委员会、国家能源局的决策，组织省（市）发改委、发电企业、设计院、科研单位和高等院校，全面启动了震区水电工程震损调查和分析工作。调查组成员不畏艰险、克服困难，冒着余震、滑坡和滚石的威胁，在第一时间赶赴现场，顺利完成了调查工作，取得了大量资料。调查组成员不仅是各单位的技术骨干，更有领导亲临现场，是我国有史以来规模最大，参与单位最多的一次水

电工程震损调查。调查范围遍及整个震区，代表了各种坝型和开发方式，并多次邀请国内外有关行业专家对震损评价和震害机制进行了分析，提出许多宝贵意见和建议。经一年的详尽调查和系统整理分析，编成本书出版，这是一份少有而宝贵的历史资料。本书可解群众之疑、释领导之惑。出版前夕，水电总院邀我写篇序，我愿借此机会，多写几句，就地震与水电工程的热点问题，谈一点拙见。

科学理解水库诱发地震。近年来社会上颇为热议的是“水库地震”。顾名思义，水库地震是由于修建水库引发了地震。更有误解者，认为水库“产生”了地震。地震这一自然现象，随着地球形成后的地质演变而产生，其历史之久远，远早于人类初现的年代，更不用说水电工程出现的年代。水库不可能在地层内“产生”或“制造”地震，对构造地震而言，充其量只能对已具备发震条件的部位施加一些影响，使之提前发生。所以很多人称之为水库诱发地震，地震界更倾向于使用“水库触发地震”一词。水库触发地震并不罕见，其机理还不能完全阐明，现在较公认的看法是水库及大坝的重量在地层内产生附加应力，以及库水沿断裂下渗，降低了断层的强度为主要因素。相对于地层活动所积累的能量而言，这些因素对深部地层的影响是极小的，所以绝大多数触发地震都是浅层微震。水库触发较大（6~6.5级）构造地震的实例极少，全球也只有4例（包括我国新丰江水库）。汶川地震是由于板块活动，在断层带内产生极高的地应力和能量，经过千百年的积累，达到临界状态而最终瞬时爆发释放的一场特大天灾，是人力难以防止的。水库对它有影响实在是太微不足道了，没有根据把水库建设和汶川地震联系在一起。世界上也从未发生过水库能触发8级构造地震的前例。

停止水电建设，解决不了地震灾害。地震是一种罕遇的、不确定的、目前尚难准确预测的自然现象。只要有地壳运动，就会有地震发生，人力无法抗拒。只要有地震发生，就会产生破坏，引起灾害和损失。吸取汶川地震的教训不是停止各行业的建设，而是如何科学规划和建设，如何防止、减少地震灾害引起的损失。西南地区确是地震频发地区，汶川大地震中最大的灾难是房屋倒塌、交通中断、山体滑坡造成的，难道就应该禁止该地区修建公路、铁路，禁止建房住人？汶川地震中大坝一座未垮，那座“唐家山堰塞湖”是天然河道堵塞河道造成的，为此，国家投入了多少人力物力抢险，还动迁下游近百万人民避险。西南地区其他河流地质条件不比岷江上游好。1967年雅砻江中游发生的唐古栋大滑坡（当时并无地震），完全堵塞了大江，下游断流，形成罕见的天然坝和大水库。这座天然坝溃决时，洪水以几十米的水头

和每秒几十米的高速横扫下游数百公里。可以设想，在这些流域上发生汶川式甚或更大地震时，将形成多少座十倍百倍于唐家山的堰塞湖，国家、政府将如何去抢险救灾，如何保护、疏散、动迁下游人民？办法只有一个，抓紧大力开发水电，修建震不垮的、能调控水资源和洪水的高坝大库。并通过建设，迅速发展流域经济，全面改变流域面貌、提高人民素质，这才能为应付突发性灾难提供条件和基础。采取回避政策，停止发展，绝对不是出路。

大坝具有强大的抗震潜力。在汶川地震灾区，各个领域都发生了重大的甚至致命的破坏，或产生严重的次生灾害。比之其他领域，水电工程所受损失十分轻微，更没有造成次生灾害。至于至关重要的大坝，以离震中最近的两座高坝——沙坪碾压混凝土拱坝和紫坪铺面板堆石坝为例，前者未出现明显破坏，后者坝体有些沉陷，面板脱空错位，坝顶、坝后防护设施有所破坏，完全不影响大坝整体安全，而且容易修复。这两座高坝的抗震实践，使我深切体会到按现代理论研究、设计、施工、管理所建成的大坝，具有惊人的抗震潜力。完全有理由相信，西南地区可以建设高坝。

总结经验，吸取教训，加快建设和发展的步伐。从上所述，西南地区可以建设高坝，开发水电。从汶川地震的经验看，因为地震地质次生灾害的原因，主要破坏的是变电、输电架构和送出线路，导致送电中断；其次是边坡崩塌，交通中断；泄洪设施的闸门、启闭机或结构的破坏，导致不能正常启闭泄洪；引水系统的露天部分，如进水口塔架、压水管道也有个别淹埋、损毁情况；厂房围墙和生活设施倒塌。今后在设计中应对此特别注意，切实改进和加固。

大坝抗震安全当然应作为关键问题考虑。我完全赞同对修建在西南地区的高坝的抗震安全性做进一步评估。首先应妥选坝址，尽量远避可能的发震断层，使大坝建在“安全岛”上。其次，开展水电工程防震抗震重大科研攻关，使能更精确地分析大坝在强震中的反应和探索更有效的抗震措施，尽量提高大坝抗震安全性。在地震烈度上，我认为重点还不是提高某些工程的设防烈度（经评估认为应调整除外），而是对少数关键性高坝做些“极限分析”，即设想这些高坝如果遭遇意想不到的超标准大地震（所谓最大可信地震、极限地震）会是什么后果？这不是常规的设计情况，不必满足常规要求，允许出现一定程度破坏，首先要求是不垮坝。其次是能迅速脱离险情，例如能迅速放低水位，以利修复，保证安全。地震虽可怕，只是十几秒或几十秒的过程，我们如能探索大坝在这瞬间的表现，弄清它的薄弱环节，针对性地予以加固、优化，采取有效的抗震除险措施，建成一座震不垮的水坝，这比提高

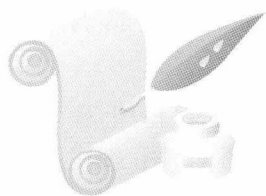
一点设防烈度也许会令人们更放心一些。

尽快修复震区所有水电工程。西南水利水电工程在以往持续发挥着防洪、发电、供水、灌溉等功能，不仅为国家和地方经济的发展起了重大作用，在抗震救灾中也作出了重大贡献。紫坪铺等水电站在地震后很快投入运行，为四川的抗震救灾、恢复生产提供了强大的能源支持；利用紫坪铺水库的防洪库容拦蓄上游堰塞洪水、开辟水上救援通道更是得到政府和人民的肯定。震区自然资源较少，水电是该区可贵资源。现有水电枢纽都经过多年艰苦努力得以建成，未破坏生态环境，已安置好移民，修复各水电站既符合当地利益，更符合国家利益。事实上，没有一座水电站无法修复，需要拆除或废弃。此外，震区水电站都已经历了远超设防烈度的强震考验，未曾破坏，没有必要提高设防烈度。需要吸取的教训是对那些在强震中最易破坏的部分进行改进，或加强结构，或改变型式，大大提高其抗震能力。

汶川特大地震震损情况中也暴露了一些问题。管理、通信、应急预案等的建设亟待提高。防患于未然、未雨绸缪等战略规划更是非常必要的。本书是水电工程震损资料的调查和分析，当然不能涉及所有问题。但我相信，本书为我国水电工程设计标准修编、防震减灾科学研究、抗震设计方法的改进和建设管理制度的完善将起到很好地启示作用。我更相信，在本书出版后，将会有更多的科研成果问世，为水电工程抗震设计提供理论与技术支持。是为序。

潘家铮

2009年9月



前言

2008年5月12日14时28分,四川汶川县发生里氏8.0级特大地震,震中烈度达Ⅺ度。地震涉及四川、甘肃、陕西、重庆等10省(区、市),417个县(市、区),受灾范围达50万 km^2 ,其中重灾区、极重灾区范围13万 km^2 ,受灾群众4625万人,地震中有8万余人遇难,37万余人受伤。汶川地震造成交通、电力、通信、市政、房屋建筑等基础设施大面积损毁,直接经济损失约8500亿元。地震地质灾害多达12000处,地震影响范围之广,造成伤亡之重、损失之大,历史罕见,是新中国成立以来破坏性最强的地震之一。

汶川地震给中华民族带来了深重灾难,但也给我们留下了研究地震危险性和震害规律以及总结工程防震抗震经验教训的宝贵信息。一个民族在灾难中失去的,必将从民族的进步中得到补偿,每一位身临其境感受到汶川地震强大威力的工程技术人员、科学工作者和工程管理者,深感对此负有义不容辞的责任和义务。全面整理震害资料、科学分析震损规律、系统总结地震减灾经验,对于认识地震灾害特征,加强防震抗震科学研究,提高水电工程抗震设计、施工和运行管理水平,增强水电工程地震减灾能力等均具有十分重要的意义。做好汶川地震灾区水电工程震损调查和分析工作不仅是对地震遇难人员的最好告慰,而且也是对中国水电乃至世界水电工程防震减灾事业的重大贡献。

根据《国家发展和改革委员会关于加强水电工程防震抗震工作有关要求的通知》(发改能源〔2008〕1242号文件)和《国家能源局关于委托开展水电工程抗震复核工作的函》(国能局综函〔2008〕16号文件)的指示和要求,水电水利规划设计总院(简称水电总院)迅速组织开展了地震灾区水电工程恢复重建规划、震损调查及其分析工作。在抗震救灾应急抢险阶段,开展了水电工程震损的初步调查,评估大坝安全性,为灾区水电工程应急处置、科学决策提供了重要依据。在恢复重建阶段,协助国家能源局等有关部门,研究制定了汶川地震灾区水电站恢复重建导则,提出了抗震复核和震损调查的基本要求。在广泛征求有关省(市)发改委、发电企业、设计院、科研单位和

高等院校意见的基础上，编制并颁布了《汶川地震灾区水电工程震损调查及抗震复核工作大纲》，全面启动了水电工程的震损调查工作。

震损调查遵循客观性、系统性和权威性的原则。组织综合团队开展实地详细调查，客观描述震损现象，真实反映水电工程震害状况及运行单位的地震应急响应情况，正确辨识地震原生灾害和次生灾害；从设计、施工、运行管理和科学研究等多角度，分析水电站水工建筑物、地基与边坡、主要设施设备地震动响应规律，全面归纳各类水电工程震损机制和震害特征，系统总结水电工程防震抗震经验教训；在调查与分析过程中，广泛邀请建设、设计和运行单位、科研院所、高等院校等工程技术人员和专家学者参与，全面征求国内权威专家的意见和建议，力求以现场调查为基础，科学分析为指导，确保调查分析成果具有权威性。

为使震损调查工作进行顺利，经与有关方面协商之后，水电总院印发了《关于成立汶川地震灾区水电工程震损调查及工程抗震复核工作领导小组、顾问组及调查专家组的通知》（水电规计〔2008〕27号），成立了以水电总院副院长王斌为组长、总工程师周建平为副组长，有关单位领导共9人组成的领导小组，负责指导协调工程震损情况的调查有关工作；成立了以潘家铮、丁国瑜、陈厚群等14位院士和11位大师、专家学者组成的顾问组，负责本次震损调查和抗震复核工作的技术指导；成立了以四川省水利水电勘测设计研究院（简称四川省院）副院长兼总工高希章、中国水电顾问集团成都勘测设计研究院（简称成都院）副院长章建跃、中国水电顾问集团西北勘测设计研究院（简称西北院）副院长兼总工白俊光为组长的三个震损调查专家组，具体负责现场调查工作。项目业主，水电总院、其他设计研究院，中国水利水电科学研究院（简称中国水科院）、清华大学、河海大学、大连理工大学等也派专家参与了现场调查工作。

自2008年7月起，调查专家组不畏艰险，冒着余震、滑坡和滚石的威胁，深入汶川地震灾区，通过现场考察，分析监测资料，与电站运行管理人员座谈，了解和掌握震前、震时及震后工程的运行状况及异常情况，获得了翔实的第一手资料。王斌副院长带队赴汶川灾区，检查协调水电工程震损调查和抗震复核工作。调查中，他深感责任重大、任务艰巨，鼓励调查人员克服困难，抓紧工作，力争高质量完成现场调查任务，并对进一步做好水电工程震损调查提出了具体指导意见和要求。2008年11月，调查专家组基本完成现场调查工作并提出中间报告，同年12月完成了调查报告。

《汶川地震灾区大中型水电工程（装机容量30MW以上）震损调查与初步

分析报告》(初稿)于2009年2月编制完成。震损调查报告初稿形成后,水电总院组织专家学者进行研讨,对水电工程震损和修复难易程度、震害特征和震损规律进行分析,科学评判水电工程抗震性能和抗震措施的有效性,系统总结水电工程防震抗震经验,提出了改进水电工程防震抗震对策措施的意见和建议。2009年3月27日,震损调查工作领导小组和顾问组专家共同对震损调查与分析报告进行了评审,形成了评审会议纪要。2009年5月,水电总院完成了《汶川地震灾区大中型水电工程(装机容量30MW以上)震损调查与初步分析报告》,于汶川地震一周年之前上报国家发展和改革委员会和国家能源局。

地震痕迹随着工程恢复重建而逐渐消失,“汶川地震灾区水电工程震损调查与分析”较为完整而翔实地描述了汶川地震大中型水电工程的震损现象,是一份珍贵的工程史料。对于各种震损现象,专家学者从不同视角,对水电工程的规划、勘察、设计、施工及科学研究、运行管理等方面进行分析,形成了对水工建筑物、地基与边坡、主要设施设备等的地震破坏机理、震害特征及抗震特性的深度认识,因而也具有很高的学术价值。尤其难得的是,为了适应西南地区水能资源的开发,提高水电工程地震减灾能力,提出了进一步完善防震抗震设计标准化体系,加强水电工程抗震安全复核以及加强应急预案管理等防灾减灾对策措施,因而更具有重要的工程应用价值。《汶川地震灾区大中型水电工程震损调查与分析》来之不易,是一大批甘于奉献、热情参与的水电工作者和相关专家学者集体劳动的结晶。

为了让广大读者更好地了解汶川地震中水电工程震损和恢复建设的真实情况,消除社会上对汶川地震中水电工程震损的一些谬传,水电总院在征得国家发展和改革委员会以及国家能源局的同意后,将《汶川地震灾区大中型水电站工程(装机容量30MW以上)震损调查与初步分析报告》作了进一步整理,编辑出版《汶川地震灾区大中型水电工程震损调查与分析》一书,向社会公开发行。

本书共分4章。第1章概述,介绍了汶川地震发震构造及影响范围、地震地质灾害特征和震损调查要求;第2章震区水电工程建设概况及震损调查,介绍震区22座大中型水电站的建设和震损调查情况;第3章调查成果及初步分析;第4章为总体评价与分析。最后附有工程照片约400幅,主要由调查专题组现场拍摄,部分工程照片来源于其他单位的灾区调查报告和互联网。

本书的出版,得到了国家发展和改革委员会、国家能源局、有关省(市)发改委、发电企业、设计院、科研单位和高等院校的大力支持,凝聚着一大

批水电工作者的心血和智慧，是集体辛勤劳动的成果。借此机会，水电总院谨向支持、帮助和配合现场调查工作的各级政府、企业、科研院所和高等院校，向指导震损调查工作的各位专家学者，向付出辛勤劳动的现场调查人员、书稿的编写和校审人员，以及照片提供者致以崇高敬意并表示诚挚的感谢。

由于调查人员众多，资料浩瀚，整理出版时间有限，不足之处，欢迎批评指正。

编著者

2009年8月18日

目 录

序

前言

1 概述	1
1.1 汶川地震发震构造及影响范围	1
1.2 地震地质灾害特征	2
1.2.1 地震地表破裂带	2
1.2.2 崩塌、滑坡	3
1.2.3 其他	4
1.3 震损调查范围及内容	4
1.3.1 地震灾区大中型水电工程分布情况	4
1.3.2 震损调查工程选择	10
1.3.3 震损调查内容	12
1.3.4 震损分级	14
2 震区水电工程建设概况及震损调查	16
2.1 岷江流域	16
2.1.1 天龙湖	16
2.1.2 金龙潭	21
2.1.3 铜钟	24
2.1.4 姜射坝	31
2.1.5 福堂	37
2.1.6 太平驿	44
2.1.7 映秀湾	51
2.1.8 紫坪铺	63
2.1.9 竹格多	130
2.1.10 红叶二级	136
2.1.11 薛城	139
2.1.12 桑坪	143
2.1.13 沙牌	148
2.1.14 草坡	160
2.1.15 耿达	164
2.1.16 渔子溪	168

2.2	涪江流域	172
2.2.1	水牛家	172
2.2.2	自一里	182
2.2.3	木座	184
2.2.4	通口	187
2.3	白龙江下游流域	194
2.3.1	碧口	194
2.3.2	宝珠寺	217
3	调查成果及初步分析	237
3.1	地震地质灾害影响	237
3.1.1	地震影响烈度	237
3.1.2	同震断层破裂带	238
3.1.3	崩塌、滑坡地质灾害	239
3.1.4	库坝区滑坡稳定性	241
3.1.5	其他地震地质灾害	242
3.2	挡水建筑物	242
3.2.1	混凝土拱坝	242
3.2.2	混凝土重力坝	243
3.2.3	混凝土面板堆石坝	246
3.2.4	土心墙堆石坝	250
3.2.5	混凝土闸坝	252
3.3	泄水建筑物	255
3.4	引水系统	258
3.5	发电厂房及开关站	262
3.6	主要金属结构设备	267
3.7	主要机电设备	269
3.8	工程边坡	273
3.9	安全监测设施	275
3.10	交通道路	276
3.11	应急过程与应急能力	278
4	总体评价与分析	282
4.1	震损总体评价	282
4.2	调查成果分析	283
4.3	工程措施分析	286
4.4	结论与建议	287
附录 A	汶川地震灾区水电工程震损调查专家组现场调查主要活动情况一览表	289
附录 B	主要依据资料	291
附录 C	工程照片	292

1 概述

2008年5月12日14时28分,我国四川省汶川县发生了震惊世界的里氏(Ms)8.0级特大地震。地震震中位于北纬31.0°、东经103.4°,震源深度约15km,震中最大烈度达Ⅺ(见图1.3.1-1)。汶川地震波及四川、甘肃、陕西、重庆、云南、河南、湖北、贵州、湖南和山西等10个省(市),417个县(市、区),灾区总面积约45万km²,其中极重灾区、重灾区面积13万km²。人民生命财产遭受了巨大损失,遇难和失踪同胞达87250人,交通、能源、通信、市政、建筑等基础设施大面积损毁,工农业生产遭受重大损失,直接经济损失约8500亿元,间接损失无法估算,地震引发大量滑坡、崩塌、泥石流等地质灾害,是我国有史以来一次性灾变事件爆发最严重的地质灾害。初步统计,地质灾害多达12000多处,潜在隐患点近8700处,形成有危险的堰塞坝达30多座。汶川特大地震是新中国成立以来破坏性最强、波及范围最广、救灾难度最大的一次地震。

1.1 汶川地震发震构造及影响范围

汶川地震发生在四川龙门山逆冲推覆构造带上。该构造带是青藏高原和华南地块的边界构造带,其南起泸定和天全,北达广元和陕西勉县,长近500km、宽40~50km,以北东走向的龙门山山脉为主,经历了长期的地质演化,具有十分复杂的地质结构和演化历史。龙门山逆冲推覆构造带主要由单式和复式褶皱、压性或压扭性断层,以及与其垂直的张扭性断层和斜交的扭性断层组成。龙门山逆冲推覆构造带内主要发育有3条断裂带,从北西向南东分别为:沿汶川——茂汶的龙门山后山断裂带、沿映秀——北川的龙门山中央主断裂带、沿都江堰——安县的龙门山前主边界断裂带。在垂直剖面上,这3条断裂均呈铲式叠瓦状向四川盆地推覆,在地表出露处断层倾角大于60°,断层倾角随着深度增加而减小。在龙门山构造带西侧20km深度处的中地壳存在3~5km的低阻层,可能是地壳深部物质滑脱的拆离带,在此处这3条断裂可能收敛合并成一条剪切带,成为青藏高原推覆于四川盆地之上的主要控制构造(张培震,2008)。

依据沉积证据、构造证据和四川盆地充填体的几何形态等标志,龙门山构造带在中生代时期以左行走滑作用为特征。同时根据地层记录和古地磁证据,龙门山构造带在40~35Ma之间,受印度板块与欧亚板块碰撞的影响,其走滑方向发生了反转,改为以右行走滑作用为特征(李勇,2006)。根据沿断裂带活动构造地貌的调查结果表明,龙门山构造带晚新生代的构造变形主要集中在灌县——江油断裂(前山断裂)、映秀——北川断裂(中央断裂)和汶川——茂县(后山断裂)及其相关的褶皱之上,均显示由西向东的逆冲运动,并伴有显著的右旋走滑分量。由于岷山隆起的形成,其两侧的岷江断裂和虎牙断裂吸收了主要的活动构造变形量,对龙门山推覆构造带的东北段起着屏障作用,使得龙门山