

图书在版编目 (CIP) 数据

汶川地震公路抗震技术文集: 纪念汶川特大地震两周年/
四川省交通运输厅编. —成都: 四川人民出版社, 2010. 4
ISBN 978-7-220-08109-5

I. ①汶… II. ①四… III. ①道路工程—防震设计—文集
IV. ①U412-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 066971 号

WENCHUAN DIZHEN GONGLU KANGZHEN JISHU WENJI

汶川地震公路抗震技术文集

纪念汶川特大地震两周年
四川省交通运输厅 编

责任编辑
封面设计
技术设计
责任校对
责任印制

陈小梅
解建华 游向平
杨 潮
袁晓红 何秀兰
丁 青 李 进

出版发行
网 址

四川出版集团 (成都槐树街 2 号)
四川人民出版社
<http://www.scpph.com>
<http://www.booksss.com.cn>
E-mail: scrmcbsf@mail.sc.cninfo.net

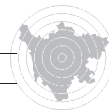
发行部业务电话
防盗版举报电话

(028) 86259459 86259455
(028) 86259524

照 排
印 刷
成品尺寸
印 张
字 数
插 页
版 次
印 次
书 号
定 价

四川胜翔数码印务设计有限公司
成都东江印务有限公司
210mm×285mm
23.5
600 千
5
2010 年 4 月第 1 版
2010 年 4 月第 1 次
ISBN 978-7-220-08109-5
58.00 元

■ 版权所有·侵权必究
本书若出现印装质量问题, 请与我社发行部联系调换
电话: (028) 86259624



前 言

“5·12”汶川特大地震已经过去近两年了，但是，那耳熟的地名、敏感的数字、刻骨铭心的画面仍然时常给人以锥心之感。两年来，四川交通人以强烈的责任感和崇高的使命感，以顽强的拼搏精神，创造了修复、修建公路史上的奇迹。并在积极地推进着灾后恢复重建任务的实践中，努力地去探索和思考，用独到的见解去重新认识和改造大自然。

《汶川地震公路抗震技术文集》正是无数参与交通恢复重建的交通人带着历史使命从实践中凝练新理论、新观点、新技术、新方法的掠影，是他们在专业技术道路上研究攻克公路抗震技术难题的智慧的结晶。虽不能代表整个交通行业的公路抗震技术水平，但它凝聚着交通人科学吸取灾难教训、积极探索自然规律、自觉肩负历史使命的进取精神，寄托着对灾难中不幸者的深深的祭奠，承载着加快推进公路抗震技术发展、有效抵御重大自然灾害挑战的历史重任。《汶川地震公路抗震技术文集》以公路为主线，以抗震为核心，以科研为支撑，内容涵盖公路领域的路基、路面、桥梁、隧道、边坡及地质等相关类别，较为全面、系统地展示了公路震害机理分析、灾后公路恢复重建技术、公路抗震设防技术等一系列先进理论和方法，既有一定的理论深度，也有较高的实用价值，更具有重要的史料保存意义，是广大公路工程技术工作者难得的技术交流资料汇编，也是广大科技工作者可资借鉴的重要参考文集。

鉴于征稿时间短，文集的涵盖面不够及编辑时间的仓促，书中难免有不足之处，恳请读者批评指正。

2010年4月

汶川地震公路抗震技术文集

——纪念汶川特大地震两周年

编审委员会名单

主任：高 烽

副主任：杨占昌 郑 勇 鲜 雄 张晓燕

张宝胜 汪 洋 代宗明 李传林

陈乐生 黄兴棣 胡大昌 赵家栋

陈双全 高 淳

成 员：胡洪波 冯文生 许东明 刘四昌

朱学雷 沈忠仁 唐永建 王 玮

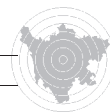
冯学钢

编写委员会名单

主 编：朱学雷

副主编：邓碧凤 柏吉琼 权 全 庄卫林

雍立明 牟治忠 郑惠萍



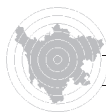
目 录

第一篇 桥梁工程

都汶高速公路庙子坪岷江大桥震后修复	3
国道 213 线映秀岷江大桥震害分析与设计对策	8
简支梁桥上部结构整联整体复位技术要点	20
彻底关大桥“7·25”地质灾害事件应急抢通和加固	27
国道 213 线都江堰至映秀段百花大桥震后重建方案	32
悬挑桥梁结构在国道 317 线汶马路灾后重建中的应用探讨	37
桥梁延性抗震设计在国道 213 线灾后重建中的应用与研究	43
地震作用下桥台滑移计算方法及应用	52
桥梁辊轴摩擦支座的减震性能研究	61
强震区桥梁墩台液化地基膨胀桩挤压加固研究	67
地震极重灾区都江堰市四跨连续 S 形弯梁桥震害综合整治技术	80
地震堆积体钻孔桩成孔技术	85
强震区液化土层内单桩内力对地震荷载的响应分析	89

第二篇 道路工程

国道 213 线川主寺至汶川公路灾后恢复重建工程总体设计	101
广甘高速公路震后路线方案优化	108
省道 303 线映秀至卧龙公路恢复重建中的关键技术对策	114
高烈度山区公路灾后重建防震选线	119
都汶公路映汶段汶川特大地震后路面快速恢复设计与施工	123
国道 317 线汶马路灾后重建拓宽设计技术探讨	129
汶川特大地震极重灾区农村公路恢复重建规划思考	134
国道 213 映汶川抢通及灾后重建工程关键技术及其应用	140



第三篇 隧道工程

汶川特大地震四川公路隧道震害调查及分析	155
酒家垭隧道震后恢复重建	166
高地应力龙溪隧道震害分析与处治技术	174
汶川地震震中隧道分析及对隧道抗震设计的反思	180
地震作用下箱形明洞的结构特性	185
桥式明(棚)洞在国道 317 线汶马公路的应用	194
龙溪隧道典型震害分析	200

第四篇 地质灾害整治、挡防结构

彻底关大桥“7·25”崩塌灾害与汶川岸左侧边坡稳定性分析	209
汶川地震支挡结构震害调查和机理分析	215
边坡和防护结构的震害分析及边坡稳定的位移设计	223
汶川特大地震中两级高大加筋土挡墙破坏机理研究	231
汶川特大地震后映汶公路地质灾害发育特征及其防治措施研究	237
映秀—汶川高速公路孟家槽不稳定斜坡变形破坏特征及防治对策	247
映秀至汶川公路防护工程震损研究	257
地震下重力式挡土墙位移设计方法研究	264
漩口至三江公路恢复重建主要工程地质问题探讨	274
新理念、新结构在汶川地震灾后重建中的应用	282
预应力锚索在映汶路滑坡防治工程中的应用	291
国道 213 线映汶路汶川特大地震后挡土墙稳定性评价及治理方法的探讨	297
锚拉重力组合式挡土墙在灾后恢复重建中的应用	305
格宾挡墙在震区公路抢通保通系统工程中的应用及改良研究	312
加筋和普通重力式挡土墙抗震性能比较	316
省道 303 线映秀至卧龙公路恢复重建工程路基防护技术	323
汶川特大地震后映汶公路典型支沟泥石流及其防治措施研究	329
浅析国道 317 汶马路 K59+073.25—K59+109.25 段高陡边坡设计方案	337

第五篇 其他

地震对公路生态系统的影响与灾后生态重建	345
震后桥梁维修加固计价探讨	353
汶川地震公路应急抢通保通工程费用结算办法(试行)	358
四川省汶川特大地震灾区高速公路和国省干线公路恢复重建工程调查、检测、评估费计价标准	361



都映高速公路庙子坪特大桥(震后)



都映高速公路庙子坪特大桥(恢复重建后)



映秀至汶川二级公路彻底关大桥(震后)



映秀至汶川二级公路彻底关大桥(恢复重建后)



都映高速公路龙洞子隧道出口(震后)



都映高速公路龙洞子隧道出口(恢复重建后)



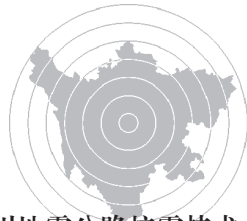
映秀至汶川二级公路毛家湾隧道出口(震后)



映秀至汶川二级公路毛家湾隧道出口(恢复重建后)



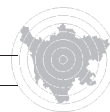
第一篇



汶川地震公路抗震技术文集
纪念汶川特大地震两周年

第一篇 桥梁工程





都汶高速公路庙子坪岷江大桥震后修复

姚红兵 蒋劲松 黄麟

四川省交通厅公路规划勘察设计研究院

摘要：本文介绍了汶川 8.0 级特大地震对庙子坪岷江大桥造成的震害，针对这些震害兼顾造价和工期提出有针对性的修复方案。

关键词：汶川特大地震；桥梁震害；桥梁修复

1. 前言

2008 年 5 月 12 日 14 时 28 分 04 秒，四川汶川发生里氏 8.0 级特大地震，震中在北纬 31.0 度、东经 103.4 度。由于汶川地震的震源深度仅为 19km，属于内陆浅源地震，地震释放的巨大能量得以通过地震波广泛向外传播，影响范围之广，除少数地区外整个中国均有明显震感。汶川地震造成长达 300 多公里的地表破裂，破裂时间持续约 80s，断层从汶川县映秀镇向东北方向一直延续至青川县一带，地震裂缝、地震鼓包、同震隆起等地面破坏现象随处可见，最大地面隆起达到 6m。断层穿过之处山河为之改观，道路、桥梁、房屋等各类建筑物更是损失惨重。图 1 为都江堰至汶川公路路线平面图，大桥距震中映秀约 6km。这次汶川大地震中心烈度高达 11 度。

庙子坪岷江大桥是都江堰至汶川公路高速路段上的一座大桥，跨越紫坪铺水库。桥梁布置为： $2 \times 50\text{m} + (125 + 220 + 125)\text{m} + 17 \times 50\text{m}$ ，桥梁全长 1440m，桥宽 22.5m（图 2）。主桥为预应力连续钢构桥，引桥为预应力混凝土简支 T 梁桥。桥梁抗震设计基本烈度为 VII 度，实际发生的地震烈度远高于设计基本烈度，因此，地震对大桥造成了不同程度的破坏。

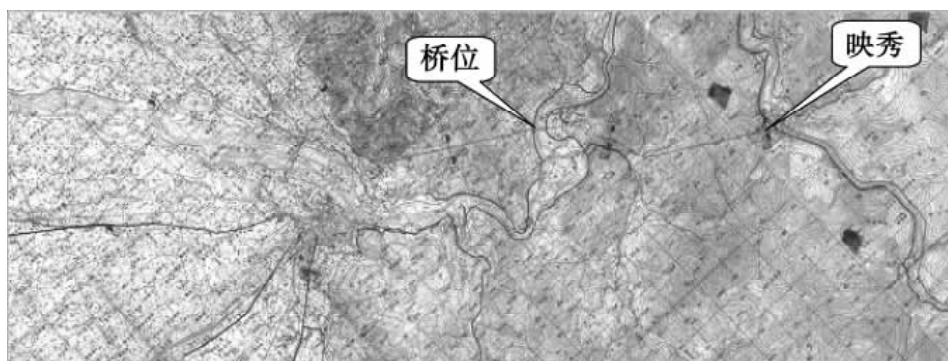


图 1 都江堰至汶川公路路线平面图

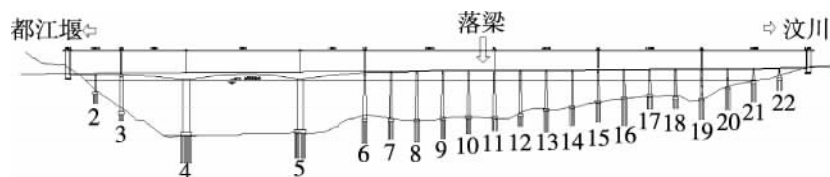
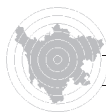


图2 庙子坪岷江大桥布置图

2. 主要震害

2.1 引桥 10#-11# 号墩间落梁



图3 10#-11# 墩间落梁



图4 10#-11# 墩间落梁

在强大的地震作用下，一跨引桥发生落梁。经水下探测，落梁已经折断，两端部分搁置在承台上，承台边缘有局部混凝土被砸坏。幸运的是，T梁坠落过程中，没有砸到引桥墩身。

2.2 引桥 T 梁移位



图5 T梁横向移位



图6 T梁纵向移位

引桥 T 梁移位既有纵向也有横向，最大纵向移位 42cm，最大横向移位 26cm。伴随着引桥 T 梁的移位，T 梁支座全部破坏、错位、脱落，支座垫石有较严重损坏，挡块完全破坏。

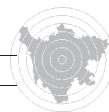


图 7 3# 墩 T 梁挡块损坏



图 8 6# 墩上游侧挡块损坏



图 9 6# 墩下游侧挡块损坏

2.3 5# 墩底裂缝



图 10 墩底横向贯通裂缝 1

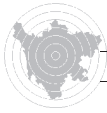


图 11 墩底横向贯通裂缝 2

5# 墩底裂缝沿墩身周边断断续续，基本连通，最大裂缝宽度约 0.8mm。

3. 修复加固

首先要明确修复加固的原则是尽可能达到原设计的抗震基本烈度，即Ⅶ度，在抗震措施上有所加强提高。不提高抗震设防烈度的原因是全线所有构造物均按 7 度设防，土建工程已经完成了大部分，此时如果提高抗震设防烈度，需要追加巨额费用。



针对上述落梁、T 梁移位、5#墩底裂缝 3 种主要震害，提出了对应的 3 种解决方案。

3.1 “架梁”

落梁导致桥上无法通行，给各个方面带来了巨大的困难，首先架梁抢通是当务之急。落梁孔距 T 梁预制场约 900m，如果利用预制场制梁需要大量的辅助设施运梁；更主要的是，预制场基本废弃了，重新启用需要投入很大，极不经济。分析后决定在主桥上预制 T 梁，运距短，操作方便。

经过两个多月的紧张施工，顺利完成架梁。

3.2 “正帽”

本桥大都是高墩，其上的 T 梁移位了，相当于人的帽子戴偏了，通过“正帽”予以复位。

都江堰岸有两跨引桥，纵向移位、横向移位量均不大，加之分幅，易于处理。汶川岸共有四联引桥： $(5 \times 50\text{m}) + (4 \times 50\text{m}) + (4 \times 50\text{m}) + (4 \times 50\text{m})$ ，第一联落梁后每联均为四跨，联与联间设伸缩缝，联内四跨采用桥面连续。

引桥 T 梁复位可以有 3 种方案，一是整联复位，二是整跨复位，三是整片梁复位。整联复位就是以联为单位实施整联纵移、横移。整跨复位是先切断跨间所有桥面连续，然后以跨为单位实施整跨纵移、横移。整片梁复位是先切断跨间所有桥面连续，然后再切断 T 梁间的接缝，最后以每片梁或每两片梁为单位实施整体纵移、横移。

整片梁复位对现有引桥上部结构破坏大，再次连接工作量大，劣势明显，不作考虑。

整跨复位兼顾了施工难度和尽量不伤及现有结构，是折中方案，但是切断桥面连续过程中必然会对现有 T 梁及桥面铺装产生不同程度的损伤，重做桥面连续后防水是个大问题，还有梁间距小，传力钢筋切断后再次连接极其困难。

整联复位最大优点是效率高、费用低、不损伤现有结构。四跨一联整体移动，避免切断桥面连续后再重做，能大大提高效率。整联复位较整跨复位难度有所加大，但是在现有施工技术条件下，是完全能够做到的。地震后尽管引桥上部结构发生了较大的纵向移位和横向移位，但是桥面连续完好无损，桥面铺装也没有任何裂缝，这也使得整联复位更有价值。因此，分析比较后，引桥 T 梁采用整联复位。

整联复位主要采用同步千斤顶实施顶升，整联 T 梁搁置在四氟滑板支座上，用同步千斤顶分别实施纵移和横移，就位后再换永久支座。

3.3 “穿靴”

5#墩底出现了裂缝，需要局部加强，通过“穿靴”予以实现。

按照紫坪铺水库当时的蓄水情况，5#墩底裂缝位于水下约 50m。潜水员下水施工难度大，效率极低，成本极高。采用无水下操作的方案是现实的选择。

首先搭设水上平台，墩顶桥面上设置必要的吊装设施。在桥面上分节段、分块预制好双壁钢箱，利用水上平台，逐段拼接施焊形成完整的双壁钢箱。从水上下放钢箱，将钢箱搁置在承台上，箱底用橡胶密封。然后向钢箱与桥墩之间的空间灌注水下不分散混凝土。

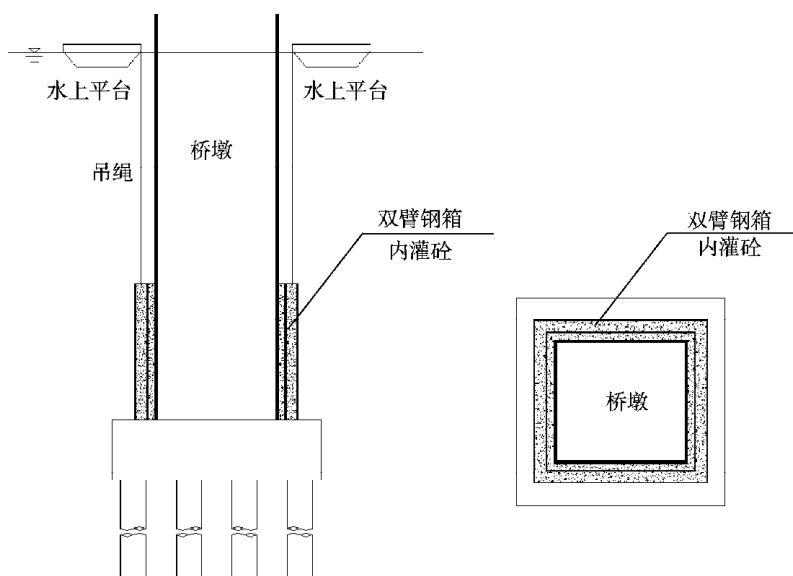
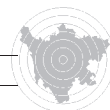


图 12 “穿靴”示意图

4. 结 语

庙子坪岷江大桥经受住了汶川里氏 8.0 级特大地震的重大考验，表明设计是完善和恰当的、施工质量是有保证的。

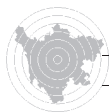
采用“达到原设计抗震基本烈度（Ⅶ度）、在抗震措施上有所加强提高”这一修复加固原则是科学合理的，兼顾了大桥安全使用与工程造价。

引桥 T 梁通过整联复位实现“正帽”，重在提高效率、节省费用，利用了先进技术。桥墩“穿靴”作局部加强，采用钢箱浇筑水下混凝土处理，力求避免水下操作，回避水下施工的困难。这些技术措施和思路对类似修复加固具有借鉴意义。

参考文献：

[1] M. J. N. 普瑞斯特雷, F. 塞勃勒, G. M. 卡尔维. 桥梁抗震设计与加固. 北京: 人民交通出版社, 1997.

[2] (美) 陈惠发, 段炼. 桥梁工程抗震设计. 北京: 机械工业出版社, 2008.



国道 213 线映秀岷江大桥震害分析与设计对策

许 毅

四川省交通厅交通勘察设计研究院

摘 要：通过对汶川特大地震区国道 213 线映秀岷江大桥震害的调查，分析了特大地震对桥梁破坏的原因，介绍了抢通阶段采取的临时措施；并结合震区梁式桥的结构特点，重点阐述了在灾后恢复重建阶段该桥出现的病害，针对病害现象，提出了相关设计对策。

关键词：汶川地震；映秀岷江大桥；桥梁震害；设计对策

1. 汶川地震概况

龙门山构造带主要由三条断裂带组成：从西向东分别为汶川—茂县断裂、北川—映秀断裂和安县—灌县断裂（图 1），这三条断裂新生代以来的活动特征均表现出由南西向北东斜向逆冲，并伴随右旋滑动分量。

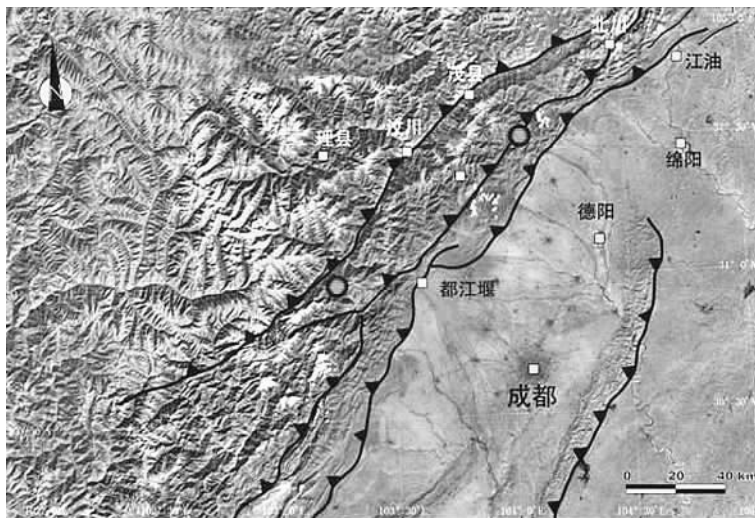


图 1 龙门山断裂构造系与在遥感影像图上强震震中位置

根据 2008 年“5·12”汶川特大地震震源机制解资料推断，汶川强震的发震构造是因龙门山构造带中央断裂带（也称北川—映秀断裂），该断裂在北西西—南东东向挤压应力作用下，发生逆冲运动，属于逆冲型地震。地震破裂滑动面向西倾，倾角约 60° 。逆冲型地震主要沿青藏高原东北缘和东缘分布。根据震源机制分析和主震、余震的分布情况可以看出，龙门山向东逆冲作用伴有向北的滑移，致