

汶川地震中小鱼洞大桥的变形破坏特征与机理^{*}

苏生瑞, 李 松, 郝莉莉, 梅 海

(长安大学 地质工程系, 陕西 西安 710054)

摘 要: 在现场调查的基础上, 研究了汶川地震中小鱼洞大桥的变形破坏现象, 总结了变形破坏的特点, 分析了发生变形破坏的机理。小鱼洞大桥在汶川地震中表现出复杂多样的变形破坏现象, 包括梁体塌落, 引线段断裂、形成断坎, 边坡坍塌, 路面纵向拉裂, 盖梁与桥台之间右行错动, 伸缩缝拉开并发生左行错动和桥台搭板移位等。小鱼洞大桥变形破坏的特点主要表现为挤压与拉张现象并存、左行与右行现象并存和水平向振动与竖向振动并存。地震时小鱼洞大桥受到了复杂的力学作用, 不仅有水平挤压作用, 而且有竖向和水平向的振动作用以及水平剪切作用。

关键词: 小鱼洞大桥; 汶川地震; 变形破坏; 机理; 小鱼洞断裂

中图分类号: U447; P315.9 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2011)04-0019-05

2008年汶川8.0级地震造成了惨重的人员伤亡和巨大的财产损失。汶川地震使交通基础设施损毁十分严重, 仅在四川省就造成21条高速公路、16条国道省干线公路、24 000 km农村公路的路基路面、桥梁隧道等结构物不同受损, 损坏国省干线桥梁670座^[1], 位于彭州市小鱼洞镇境内的小鱼洞大桥即是损坏的桥梁之一。

小鱼洞大桥是龙门山镇、小鱼洞镇近3万群众和数10万游客进出龙门山风景名胜区的必经之路。该大桥于1998年开工修建, 1999年竣工通车, 汶川地震中发生严重破坏不能通行, 已经被列为地震遗址之一。灾后, 已经在其东部新建了通往小鱼洞的大桥。

小鱼洞大桥主体位于小鱼洞断裂上盘, 引桥段横跨该断裂。小鱼洞断裂是汶川地震中产生的一条NW向带有逆冲垂直分量、左旋走滑性质的新生断裂带, 前人多称为小鱼洞地表破裂带^[2-3]。

对于小鱼洞断裂, 前人主要研究了其滑动矢量^[4]和地质特征及形成机理^[2,5]。关于小鱼洞大桥的破坏, 在前人的研究中主要是把它当做一断层上的一个破裂点。现场调查表明, 位于断裂上盘的小鱼洞大桥的破坏包含了十分丰富的关于地震破裂的灾害效应的信息, 除了地表破裂带对其产生错断外, 还有其他因素的作用。自汶川地震发生以来, 已经有大量的关于地震地表破裂、地震

成因、地震引发的地质灾害等方面的研究成果发表, 这些成果无疑对于认识这次地震的机理及其

灾害效应具有重要的作用, 但是, 尚缺乏对典型工程的地震灾害和断裂错动灾害效应的深入研究。在桥梁震害研究方面, 王再荣等基于近年来国内外几次大地震灾害梁式桥的震害资料, 对梁式桥震害现象进行了分类, 并分析了其原因^[6]。本文以汶川地震中遭受严重破坏的小鱼洞大桥为研究对象, 研究地震中大桥的变形破坏现象、变形破坏的特点和发生变形破坏的机理, 这些研究对于进一步深入研究地震机理、地震时的地面运动规律、地震灾害效应和工程抗震设计有十分重要的意义。

1 桥址区地质概况

小鱼洞桥位于彭州市小鱼洞镇主街道以南, 横跨湔江。桥址区出露地层为二叠系上统、三叠系上统须家河组和第四系全新统(图1)。二叠系上统为燧石灰岩、页岩和煤层及下统灰岩、白云质灰岩。三叠系上统须家河组由页岩、岩屑砂岩和煤层及下统紫灰色泥岩、粉砂岩和灰色白云质灰岩组成。第四系全新统由亚砂土和亚粘土组成, 主要集中在湔江两岸。

^{*} 收稿日期: 2011-03-01

基金项目: 国家自然科学基金项目(40534021); 中国地质调查局项目(1212010914025)

作者简介: 苏生瑞(1963-), 男, 甘肃庆阳人, 教授, 从事地质工程教学与科研工作. E-mail: shengruisu@163.com

桥址区位于龙门山中央断裂和龙门山前山断裂之间,岩层走向 NNE-SSW,倾向 NW,倾角较陡,一般为 $45^{\circ} \sim 75^{\circ}$ 。小鱼洞断裂长约 6 km,

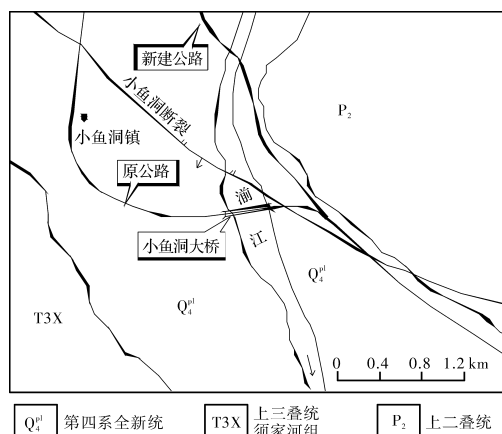


图1 小鱼洞大桥桥址区地质示意图

走向 NW-SE, NW 端终止于龙门山中央断裂, SE

向终止于龙门山前山断裂,运动性质为左旋走滑兼逆冲分量,主要由地表弯曲滑动褶皱构造组成。破裂变形带宽度 5~20 m,显示断层西南盘抬升,陡坎坡度在 $30^{\circ} \sim 35^{\circ}$,东北盘下降,横切公路、田坎、围墙、白水河河流阶地和高漫滩,形成陡坎或跌水等景观,处于断裂带上的建(构)筑物遭致严重毁坏,坎上庄稼、树木呈“醉汉林”倒伏^[2,7],处于上盘的小鱼洞大桥发生严重破坏。

2 小鱼洞大桥变形破坏现象

小鱼洞大桥全长 187 m,桥中轴线总体走向 265° ,属钢架拱桥,主桥为 4 跨(本文将其自西向东分别命名为第 1、第 2、第 3 和第 4 跨),每跨长度 40 m(图 2a),桥面宽 12 m,横桥向由 5 片拱肋组成。汶川地震中,小鱼洞大桥的变形破坏主要有如下几个方面(图 2b、2c)。

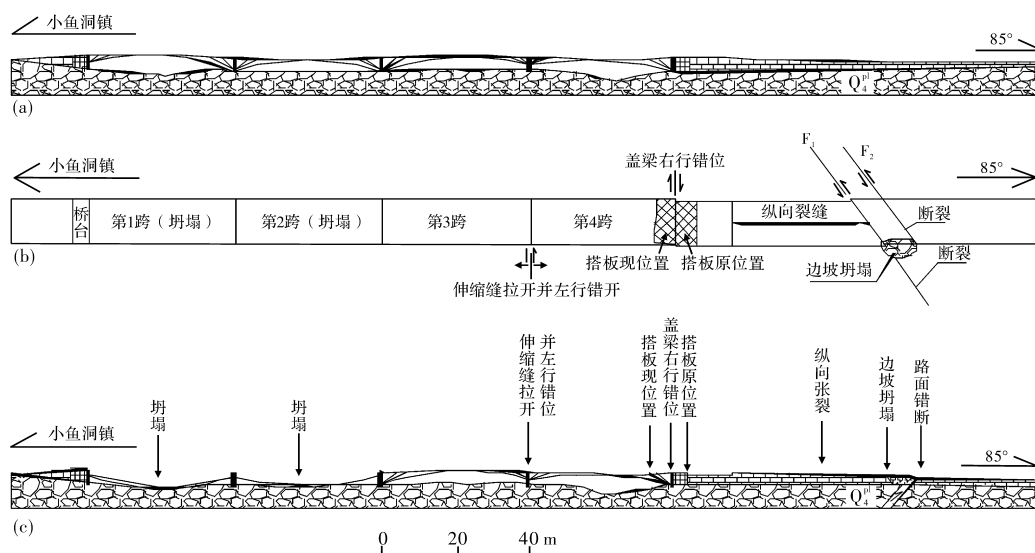


图2 小鱼洞大桥地震前纵剖面图(a)和地震后平面图(b)及纵剖面图(c)

(1)梁体塌落。第 1 跨和第 2 跨从中部折断后坍塌,落于河床,纵剖面上组合成“W”形(图 3)。

(2)引线段断裂,形成断坎。小鱼洞断裂通过引线段,表现为两条近平行的逆断层(分别表示为 F_1 和 F_2 ,见图 2),间距 9.0 m,走向分别为 122° 和 135° 。两条断层之间形成高差 0.5 m 的向下盘方向倾斜的断坎(图 4),造成西侧(断层上盘)路面抬升。该处除发生逆断层式错断外,还表现出左行错动,其中 F_1 左行错动约 0.18 m, F_2 左行错动 0.03 m。据此,该处垂直断距 0.5 m,水平断距 0.21 m,显示其错动是以逆断为主,兼有左旋走

滑。根据两条断层的间距和断坎高度,计算得出该处路面缩短约 0.014 m(图 5)。

(3)边坡坍塌。引线发生断裂处南侧的边坡坍塌(图 4),坍塌段长度 10 m,西端起于 F_1 断层,东端止于 F_2 断层东约 0.5 m,最大宽度 2.4 m。

(4)路面出现纵向拉裂。裂缝长度约 23 m,最大宽度约 15 cm(图 6),东端至于 F_1 断层,西端达桥台附近。裂缝北侧混凝土路面隆起,而且护栏呈向上弯曲的形态。

(5)盖梁与桥台之间右行错动。第 4 跨的东侧盖梁与桥台之间发生右行错动,错动距离 30 cm(图 7)。

(6)伸缩缝拉开并发生左行错动。第3跨和第4跨之间的伸缩缝拉开约38 cm(图8),裂口形状呈上宽下窄“V”字形,同时,左行错动13 cm。

(7)桥台搭板移位。东侧桥台的搭板出现在桥面上(图9),而且撞击护栏,搭板撞击护栏的方位为 286° 。

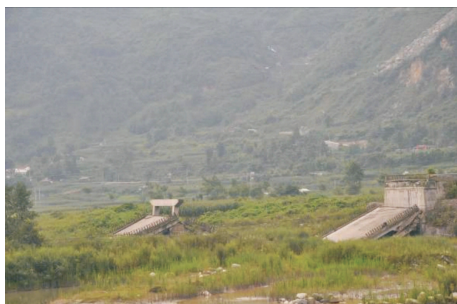


图3 西侧两跨整体垮塌(镜向 W)



图4 引线段断裂形成断坎,护坡坍塌(镜向 NW)

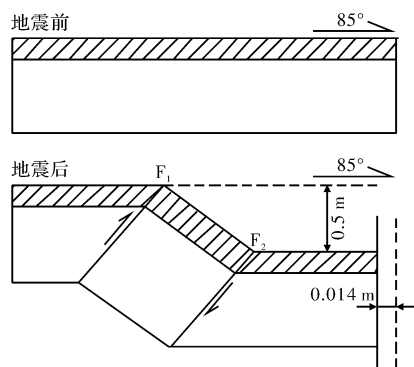


图5 路面错断剖面示意图



图6 路面纵向拉裂(镜向 NW)



图7 桥梁右行错位 30 cm(镜向 NE)



图8 伸缩缝拉裂并发生左行错动(镜向 NW)



图9 桥台搭板飞落到桥面上并撞击护栏(镜向 SE)

3 小鱼洞大桥变形破坏特点

从前述变形破坏现象可以看出,小鱼洞大桥在该地震中表现出复杂多样的变形破坏现象。通过对这些现象的分析,认为小鱼洞大桥变形破坏的特点主要表现为挤压与拉张现象并存、左行与右行现象并存和水平振动与垂直振动并存。

(1)挤压与拉张现象并存。大桥引线段,小鱼洞断裂通过处主要呈逆断层形式,属于典型的挤压构造现象,表明有与大桥近于平行的挤压作用,引线段路面的纵向拉裂(图6)也与和大桥近于平行的挤压作用有关。而大桥第3跨和第4跨之间的伸缩缝张开,且剖面上呈上宽下窄的“V”字形,属于拉张现象,表明有与大桥近于平行的拉张作用。

(2)左行与右行现象并存。大桥引线段,小鱼洞断裂通过处主要除表现为逆断层形式外,还具有左行平移的特点;第3跨和第4跨之间的伸缩缝除拉张外,还表现为左行错动。在这两处平移错

动之间,第4跨的东侧盖梁与桥台之间发生右行错动。

(3)水平向振动与竖向振动并存。桥台搭板系钢筋混凝土板,厚度8 cm,宽度与桥面宽度相同,顶面和桥面在同一平面上,两者之间的接缝垂直于桥面。地震后,桥台搭板出现在其西侧的桥面上(图9)表明搭板在地震力的作用下不仅发生了水平运动,而且发生了竖向的运动,即首先通过竖向运动脱离桥台,然后通过水平运动飞落于桥面上。

4 小鱼洞大桥变形破坏机理

小鱼洞大桥的上述变形破坏现象和规律表明,地震时该桥受到了复杂的力学作用,不仅有水平挤压作用,而且有竖向和水平向的振动作用以及水平剪切作用。

(1)NE-SW 向的水平挤压作用。表现为形成断坎,挤压作用力方向与桥的走向呈锐夹角相交。由于挤压,使位于小鱼洞断裂上盘的大桥局部拱起,第3跨和第4跨之间的伸缩缝被拉开;同时,使引线段(两侧均为边坡,没有约束)派生出近于垂直于公路的拉应力,出现纵向拉裂破坏(图10)。

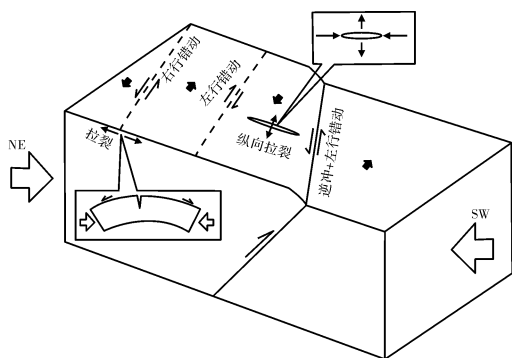


图10 小鱼洞大桥变形破坏的力学模式

(2)竖向和水平向振动作用。在竖向地震力作用下,桥台搭板脱离桥台,并被抛到空中,然后,搭板在重力作用下下落的同时,受水平地震力作用,地面发生向桥台方向的水平运动,使搭板落在桥面上(图11)。

(3)NWW-SEE 向的左行剪切作用。小鱼洞断裂发生逆冲运动的同时,上盘发生 NWW-SEE 的左行剪切作用。剪切作用一方面使桥梁和其引线部分左行运动(向 NWW 方向),另一方面使桥

台搭板下落到桥面后沿剪应力作用的方向撞击北侧的护栏。由于桥梁的第3跨与第4跨之间以及第4跨的盖梁与桥台之间没有连接措施,桥梁及其引线的左行运动没有同步发生,第4跨的运动慢于第3跨和引线段,从而造成第4跨呈现向 SEE 向运动的现象(图11)。

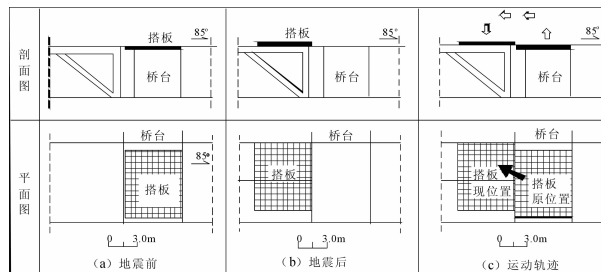


图11 桥台搭板地震前和地震后的位置及其运动轨迹

5 结论

在2008年汶川特大地震中遭受严重破坏的小鱼洞大桥遗址包含了丰富的地震灾害信息。实地调查结果表明,小鱼洞大桥在汶川地震中表现出复杂多样的变形破坏现象,并表现出挤压与拉张现象并存、左行与右行现象并存和水平向振动与竖向振动并存的变形破坏特点。地震时小鱼洞大桥受到了复杂的力学作用,不仅有水平挤压作用,而且有竖向和水平向的振动作用以及水平剪切作用。

参考文献:

- [1] 唐永建,庄卫林,吉随旺. “5.12”汶川大地震四川灾区公路应急调查与抢通[M]. 北京:人民交通出版社,2008.
- [2] 徐锡伟,闻学泽,叶建青,等. 汶川 Ms8.0 地震地表破裂带及其发震构造[J]. 地震地质,2008,30(3): 597-629.
- [3] 彭建兵,马润勇,范文,等. 汶川大地震的科学思考[J]. 地球科学与环境学报,2009,31(1): 1-29.
- [4] 陈桂华,徐锡伟,于贵华,等. 2008年汶川 Ms8.0 地震多断裂破裂的近地表同震位移及滑移分解[J]. 地球物理学报,2009,52(5): 1384-1394.
- [5] 李勇,黄润秋,周荣军,等. 龙门山地震带的地质背景与汶川地震的地表破裂[J]. 工程地质学报,2009,17(1): 3-16.
- [6] 王再荣,郭恩栋,赵钊,等. 梁式桥震害及其影响因素分析[J]. 灾害学,2010,25(3): 37-41.
- [7] 李海兵,王宗秀,付小方,等. 2008年5月12日汶川地震(Ms8.0)地表破裂带的分布特征[J]. 中国地质,2008,35(5): 803-813.

Characteristics and Mechanism of Deformation and Failure of Xiaoyudong Bridge Caused by Wenchuan Earthquake

Su Shengrui, Li Song, Hao Lili and Mei Hai

(Chang'an University, Department of Geological Engineering, Xi'an 710054, China)

Abstract: On the basis of site investigation, deformation and failure of Xiaoyudong Bridge caused by Wenchuan earthquake are studied, its characteristics are summarized and mechanism is analyzed. The bridge showed complicated and diversified phenomena of deformation and failure, including collapse of beams, lead section segment and fault scarp formation, slope collapse, longitudinal rupture of road surface, right-lateral dislocation between cap beam and bridge abutment, extension and left-lateral dislocation of expansion joint, abutment slab displacement and so on. The deformation is characterized by co-existing of compression with extension, right-lateral dislocation with left-lateral dislocation, and horizontal vibration with vertical vibration. During the earthquake, Xiaoyudong Bridge subjected not only to horizontal compression, but also to horizontal and vertical vibration and horizontal shearing.

Key words: Xiaoyudong Bridge; Wenchuan earthquake; deformation and failure; mechanism; Xiaoyudong fault

(上接第 13 页)

A Preliminary Discussion on Risk Assessment Index System of Sandstorm Disasters

Li Feng

(China National Desertification Monitoring Center, State Forestry Administration, Beijing 100714, China)

Abstract: Based on the theory of natural disaster system, the concept of sandstorm disaster risk is expounded, and the composition of the risk is analyzed in three aspects as the danger of disaster-causing factors, the stability of hazard inducing environment and the vulnerability of hazard bearing bodies. The risk assessment indexes of the above-mentioned three aspects are researched according to the composition characteristics of the risk, and the significance of the indexes application in the risk assessment of sandstorm disaster is discussed.

Key words: sandstorm; disaster; risk; assessment index

下期要目

基于信息熵的灰色模型在地质灾害评价中的应用——以四川青川县为例…………… 朱吉祥, 张礼中, 周小元, 等
 基于复杂网络的台风灾害演化系统风险分析与控制研究…………… 陈长坤, 纪道溪
 洪水作用下汽车的起动流速研究…………… 舒彩文, 夏军强, 林斌良, 等
 基于模糊综合评判的汶川 8.0 级地震重灾区滑坡泥石流气候风险评估…………… 潘建华, 彭贵芬, 彭俊, 等
 科技信任、管理信任及其对公众水灾风险认知的影响——基于长江中下游的社会调查…………… 沈 鸿, 孙雪萍, 苏 筠
 基于灰色理论的黑龙省暴雨洪涝特征分析及灾变预测…………… 姚俊英, 朱红蕊, 南极月, 等
 中国自然灾害与粮食生产脱钩关系分析…………… 王秀芬, 李茂松
 基于模糊聚类的应急物资分类储备研究…………… 张永领
 台风灾害债券设计——基于广东省数据的实证研究…………… 钟雅琴, 陈 和
 基于 GIS 的陕西省滑坡灾害空间分异特征探讨…………… 段 钊, 赵法锁, 李 芳
 基于格网 GIS 的豫北地区干旱灾害风险区划…………… 赵 静, 张继权, 严登华, 等