

基于RS与GPS的汶川地震 路基路面震害损毁调查

——以都汶公路为例*

于晓

(山东明嘉勘察测绘有限公司, 山东 淄博 255000)

摘要:文章以都汶公路为例,利用遥感解译技术快速获取地震诱发山地灾害类型及其对公路造成的严重损害类型,利用GPS对公路损毁灾害点准确定位,获得路基路面直接震害类型信息,同时对山地灾害遥感判识结果进行检验。通过分析认为公路沿线岩体岩性以及风化破碎程度的不同,对公路产生的损毁程度不相同;路基破坏程度与距离震中和断裂带的远近有密切关系;路基下方护坡的破坏与所处边坡的坡度有关;崩塌滑坡产生大量松散固体物质,雨季到来之后,极易暴发大规模泥石流,需要注意并防范泥石流对行车安全和道路交通的影响。

关键词:汶川地震;路基;路面;震害

中图分类号:TP393.02

文献标识码:B

0 引言

2008年5月12日14点28分,在四川省汶川县爆发了里氏8.0级地震。主震区沿四川西部的龙门山断裂带展布,长约300 km,对四川、甘肃和陕西3省的32个县(市、区)造成了严重危害。地震重灾区位于四川西部山区,地质构造复杂,断裂发育;不但造成特大破坏,而且诱发了大量的次生山地灾害,主要包括崩塌、滑坡、泥石流、堰塞湖等^[1],对山区公路交通系统造成严重破坏,极震区大部分桥梁被毁坏,地震烈度为VI度以上的地区,桥梁、路面都有不同程度的破坏。地震不但使公路系统本身遭受严重破坏,需要进行修复、改建或重建,而且阻碍救援队伍和工程机械进入灾区,加大救援难度,严重延缓了救援进度,对抗震救灾工作造成不利影响。

公路交通是生命线工程运输系统的重要组成部分,在震后抢险救灾工作中起着重要作用。由于交通受阻、条件恶劣,在抗震救灾初期采用常规调查十分困难,但是遥感技术能快速高效地获取地表信息,在应急抢险中发挥重要的作用。随着公路重建与损

毁公路清理工作的开展,选择重点研究公路(都汶公路为例)进行野外调研,利用GPS对公路两侧地震诱发次生灾害、公路损毁路段等信息进行详细定位,震后都汶公路路基路面震害第一手资料的获取和分析,为今后开展公路交通系统震害预测、经济损失评价、地震诱发公路次生灾害与公路破坏类型间耦合关系等研究提供了必要的科学支撑和资料依据^[2]。

1 研究区概况

1.1 地震及次生山地灾害对公路交通的影响

(1)受损的范围极其广泛。四川省20个市州的交通基础设施都在地震中不同程度地受到损毁。其中阿坝、广元、绵阳、成都、德阳、雅安6个市州受损的程度最严重,汶川、茂县、北川、青川、平武、卧龙等6个重灾区和254个乡镇的对外交通全部中断。灾害造成了全省21条高速公路、15条干线、2756条农村公路的路基路面桥梁结构受损,损毁的里程超过2万km。

(2)损害的程度极其严重。许多交通基础设施

* 收稿日期:2010-07-09;修订日期:2010-08-05;编辑:程光锁

作者简介:于晓(1976—),男,山东栖霞人,工程师,主要从事3S和防灾减灾研究;E-mail:sdzbxiaoyu@163.com。

建设成果在地震中遭受到毁灭性的、根本性的破坏。据不完全统计,总损失金额达到580亿以上。

(3)公路的抢通工作极其艰巨。地震重灾区多是高山峡谷、交通不便、交通基础设施抗震能力也很脆弱的山区,地震所引发的山地灾害对交通基础设施破坏巨大。公路交通系统损毁形式多样,如路基开裂塌陷,边坡垮塌,桥梁断裂等,损毁路段多位于河谷区;同时余震不断,易发滑坡、泥石流,常常是刚刚抢通的路段由于余震影响,又被掩埋,因此抢修工作极其艰巨。

1.2 研究路段(都汶公路)概况

都江堰至汶川公路(都汶公路)是抗震救灾的生命线,位于四川盆地西北,系国道317线、213线的共用段,是阿坝州至成都的重要通道。路线起自成灌高速都江堰收费站,止于汶川县城,与原国道213线相接。路线里程95 km(其中都江堰至映秀39 km为高速公路,映秀至汶川56 km为二级公路),沿岷江展布,途经雁门、威州、和平、绵虬、银杏、映秀、漩口等乡镇,共跨越岷江23次,地形多以中山、低山、河谷为主,相对高差在800 m左右,公路两侧岩性多由千枚岩、片岩、砂岩、泥岩等组成。

汶川地震震中位于汶川县映秀镇,致使都汶公路长达95 km范围严重受损,87座桥梁不同程度被损坏,沿途发育大型岩崩、滑坡、泥石流、堰塞湖等次生地质灾害,总塌方量过亿立方米,全线交通中断。阻碍救援队伍和工程机械进入灾区,严重延缓救援进度。

5月17日下午5点钟,都江堰至映秀39 km“生命线”被抢通,为救灾部队携重型救灾装备进一步深入灾区,运送救灾物资和伤员赢得宝贵时间。但剩余的映秀至汶川56 km截至7月10日仍未打通,其中52座大中型桥梁(28座跨越岷江)不同程度受损,其中7座垮塌(3座跨越岷江),1座被掩埋,25座严重受损已成危桥。映秀至彻底关段18.5 km公路受损尤为严重,出现几十处大型岩崩、滑坡、泥石流、堰塞湖等次生地质灾害和上百处路基边坡高危点,总塌方量超过8 000万 m^3 。如此集中和毁灭性的公路损毁在国内公路史上绝无仅有,世界上也十分罕见。

2 调查研究方法与数据源

(1)常规调查方法

公路损毁调查通常由2人调查小组沿线通过目测进行,鉴别调查、记录路段上出现的损坏类型和严重程度并丈量损坏范围。当同一调查路段上出现多重损坏或多种严重程度时,分别计量和记录。

(2)不同抢险阶段采用的方法

地震发生后,抢救与转移受灾群众,打通生命线等成为应急抗震抢险首要任务。由于进出灾区的公路受到严重破坏,同时余震不断,崩塌、滑坡、泥石流频发,采用常规调查十分困难。而遥感技术能快速高效地获取地表信息,能够在公路沿线地质灾害调查,次生灾害对公路造成断道、掩埋等严重损毁调查中发挥应有的作用。

此阶段主要采用ADS40航空数据(空间分辨率2 m)、福卫2号卫星影像数据(包括空间分辨率分别8 m的多光谱和2 m的全色影像数据),同时使用1:5万DEM数据,在完成纠正、融合、影像拼接等图像预处理基础上,对不同类型山地灾害建立遥感解译标志,完成室内判识解译,获取都汶公路沿线次生山地灾害分布图与不同类型灾害对公路造成损毁分布图。

汶川地震使都汶公路成为地震与公路次生山地灾害、公路损毁机制等研究的天然试验场。随着抗震抢险工作的深入,公路重建与损毁公路清理工作已经开展,对受损路基路面进行维修,同时对沿线垮塌的桥梁、不稳定危岩高边坡等采用爆破方法进行拆除,为了获取第一手宝贵资料,公路损毁调查小组于2008年7月10日对都汶公路进行野外调研。由于彻底关大桥-映秀道路仍未打通,分别从都江堰与汶川方向进行考察,详细调查公路损毁类型,利用GPS对损毁路段、不同类型灾害点进行定位,对室内遥感解译成果图进行实地验证^①。

3 都汶公路路基路面震害类型

汶川地震不仅对路基路面造成直接损坏,而且地震诱发的次生灾害,如崩塌、滑坡、泥石流、堰塞湖等对公路造成的影响巨大,比直接震害更加严重^[3]。

3.1 基于RS的次生灾害公路损毁类型

地震诱发了大量的山地次生灾害,对山区公路

① 中国地震局地球物理所,陈运泰、许力生、张勇等,2008年5月12日汶川特大地震震源特性分析报告,2008年。

造成了严重的破坏,主要包括崩塌滑坡掩埋公路、堰塞湖淹没公路、地震造成河流冲刷导致路基水毁、泥石流、不稳定斜坡等。

利用航空影像,采用遥感判识解译技术,能够快速获取公路沿线次生山地灾害类型信息及其对公路造成的不同损毁程度(图1-a,图1-b)。按照次生山地灾害对道路造成的损毁严重程度,可分为:

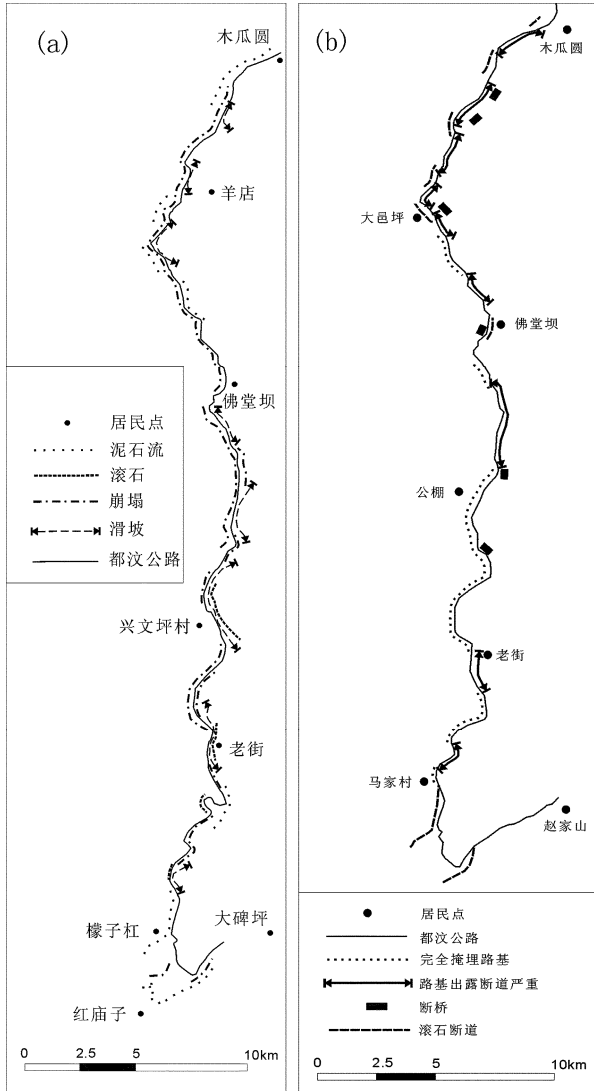


图1 地震对都汶公路造成的次生灾害分布
a)一遥感解译(2008-05-18);(b)一人工调查(2008-07-08)

(1)路基被崩塌滑坡完全掩埋

崩塌滑坡是地震造成分布范围最广的次生山地灾害,常形成岩质边坡崩塌滑坡和土质边坡滑坡,处于地震中央断裂带附近的公路所受影响最为明显。大量的崩塌滑坡堆积物快速倾泻,掩埋公路,造成的危害与后果极为严重。截至考察时仍有大量路基,

尤其是国道G213线被厚滑坡体掩埋(图2),沿线被掩埋损毁车辆随处可见。



图2 岷江两岸公路崩塌滑坡

都汶公路在下索桥—桃关隧道、彻底关断桥—罗圈湾、上银杏坪、上河坝—一碗水村、上坪—皂角湾—金竹林一带,路基被完全掩埋,对局部危险高边坡采用爆炸方式清除危岩,重新修建临时通道。

G213线路面被完全掩埋情况更为严重。掩埋较为严重的路段包括威州中学对岸举行滑坡掩埋公路约2 km,万村—新桥村、飞沙关沿线、磨子沟—羊店村—下索桥—皂角湾,桃关村—彻底关、沙坪—银杏、下坪、皂角湾—太平驿、映秀镇—黄家村、被毁百花大桥沿线、漩口—紫坪铺等路段。据遥感解译初步统计,路面被完全掩埋长度占损毁公路的62.55%。

(2)堰塞湖淹没道路

地震造成大规模的山体崩塌,堵塞河道形成堰塞湖,湖水上涨导致公路被淹没,道路越靠近龙门山断裂带,形成的堰塞湖越集中,如著名的唐家山堰塞湖,掩埋公路数十千米。在考察线路上,距映秀岷江上游2 km处(老虎嘴)近70万m³山体滑坡,形成堰塞湖,淹没公路近2 km,淹没深度达十多米。堰塞体致使水流改变方向,顶冲下游公路,造成近500 m公路全毁。

(3)路基虽未完全掩埋,但是被巨石崩塌断道,损毁较为严重

都汶公路在羊店村—汶川县城境内路段,虽然路面未被崩塌滑坡完全掩埋,但滚石、崩塌等造成断道(图3)、路面开裂、下沉等现象严重,影响行车安全,部分路段只能单侧通行。

(4)雨季易暴发泥石流,威胁公路、路基等设施



图3 落石堵断公路

安全

在重灾区和龙门山中央断裂带区域,滑坡崩塌产生了大量的松散堆积物质,堆积在道路沿线、坡面和沟道内,它们为泥石流提供了丰富的物质来源,雨季来临之后,极易发生大规模的泥石流,对公路、桥梁、路基等设施的安全造成威胁。

(5) 不稳定高边坡

地震造成了大量的高边坡崩塌,在保证抗震救灾生命线畅通工程中,对沿线发生崩塌、滑坡的高边坡垮塌物进行应急清理,但是边坡陡峭,在余震不断、暴雨等激发因素下,斜坡物质处于失稳状态,仍有可能再次发生崩塌和滑坡,对修通的道路造成再次断道,影响行车安全。

3.2 路基路面与支挡结构物的震害类型

遥感技术能够对大范围公路沿线次生山地灾害进行快速提取,可以向交通部门提供沿线地质灾害、不同路段损毁等级等信息,为其制定快速高效抢修道路提供决策支持。但遥感技术仅能从宏观上提供决策依据与支持,无法提供路基路面、支挡结构物等设施的震害信息,因此需要进行野外调研,利用GPS对详细灾点、震害类型进行定位,同时亦可验证遥感解译成果的准确性。

(1) 路基路面震害

地震造成的路面直接震害主要有如下7种类型^[4]:路基路面整体断裂、错动、滑移;基路面整体坍塌;基路面整体沉陷;路基路面隆起、挤压;路面碎裂;崩塌、落石断道;地震造成路面纵横向裂缝。

(2) 支挡结构震害类型

边坡支挡结构物主要包括挡墙、护面墙、抗滑

桩、桩板墙等,通过对沿线支挡结构物的调查,发现挡墙、护面墙震害较多,主要震害类型包括砸坏、坍塌、开裂;而抗滑桩、桩板墙震害相对较少。

由于各路段所处的地理位置、水文地质条件、地貌情况、震中距离及公路走向不同,路基路面震害的轻重程度及震害类型也不同。表1为映秀—都江堰方向沿线路基路面、支挡结构震害类型,NO为GPS定点编号。图4为不同震害类型所占的数量。在同一调查点,出现多种震害并存的现象。

3.3 结果分析

(1)位于龙门山主断裂带与汶川—茂县断裂带之间的汶川—映秀路段,由于地震引发的崩塌滑坡极其严重,导致部分路段出现路基路面完全被掩埋,尤以彻底关—罗圈湾,上银杏坪、皂角湾一带最为严重。映秀境内的公路路基开裂、滑移、下沉、隆起等震害非常集中,尤其在牛圈沟(震中)附近,路基损毁更为严重。但进入都江堰境内后,路基破坏以轻微开裂和鼓胀为主,而路基整体破坏的路段急剧减少。由此,表明路基破坏程度与距离震中和断裂带的远近关系密切。

(2)映秀—都江堰沿线,路基下方护坡发生开裂、滑移破坏有12处,占调查点的15%。陡斜坡路堤更易发生开裂现象。路基下方护坡的破坏与所处边坡的坡度有关。

(3)路基外侧防挡工程的破坏能够引发路基开裂。

(4)公路沿线岩体岩性以及风化破碎容易导致产生破坏程度的山地灾害,从而使公路所受破坏产生差异。

(5)路基边坡震害与是否有防护措施、防护的不同类型有关。当边坡无防护设施时,边坡崩塌滚石易造成掩埋路基;采用挂网喷砼方式时,仅造成滚石断道,而发生掩埋情况较少。对于采用不同防护类型,边坡影响亦不同。采用挂网喷砼防护,仍会发生大面积开裂现象;而采用锚杆框梁防护则几乎无破坏产生。

(6)余震期间,次生灾害以崩塌、滑坡为主,产生了大量松散固体物质堆积在坡面与沟道内,随着雨季的来临,极易发生大规模的泥石流,对行车安全和公路产生影响。因此需要考虑如何防范泥石流的发生。

表1 映秀—都江堰沿线路面路基、挡土墙震害类型

GPS-No	损毁类型	GPS-NO	损毁类型
8	挡土墙受损/阻断公路	76	路面中度受损、地面沉降
9	地裂缝/护坡纵向开裂	78	路面沉降,水泥护坡开裂
10	地裂缝/护坡开裂/路面中等受损	79	公路向左侧倾斜地裂缝、沉降
11	地裂缝	81	地裂缝
16	地裂缝严重	82	挡土墙破损、巨石轻微断道
17	地裂缝/左侧护栏受损	83	路面拱起、沉降,现已沥青修复,长约6~7m
20	危桥/挡土墙损毁	84	地面裂缝、沉降,现已修复长约8m
21	桥墩受损,桥梁错位	85	挡土墙破损,长约9m
22	轻微断道	86	崩塌断道、防护栏受损
24	护坡受损20m	88	公路左侧隆起长18m,宽50m
26	桥中等受损	89	崩塌群
28	断道/路面开裂/挡土墙破损	91	崩塌-损毁公路护栏
29	堵段公路/下方路基开裂/	92	左侧公路拱起20cm
30	路面中部拱起/防护栏倾斜沉降	94	公路右侧崩塌,宽30m
31	护坡受损	95	公路左侧拱起,开裂
34	护坡轻微受损	96	漩口镇客运站受损严重,危房
43	护坡开裂,路面中度受损	97	寿江大桥受损严重
45	公路中度受损,路面开裂	98	公路断道,挡土墙/护栏受损
47	护坡受损严重	99	公路右侧禁止通行
48	公路轻度堵断	100	挡土墙受损,长约10m;断道
49	轻微受损,轻微错位	101	桥面裂缝
51	轻度断道	102	公路下方护坡开裂严重
52	路面下沉	103	公路沉降/中度受损,断道
53	水泥护坡轻度开裂	104	公路沉降/护栏受损
55	路面受损,地裂缝	105	路面左侧沉降塌陷,中等损毁
56	路面受损	106	路面沉降
57	挡土墙破损,轻微断道	107	路面沉降,下陷,地裂缝
59	中度断道/地裂缝/沉降20cm	108	路面拱起/断道/挡土墙受损
61	路面中部拱起4~5cm	109	公路损毁,改道
62	桥受损桥前附属挡口断裂塌陷	112	崩塌长50m,断道
64	桥与路连接处开裂,防护栏冲毁	105	路面左侧沉降塌陷,中等损毁
65	水泥护坡开裂,路面中度损毁	106	路面沉降
68	公路断道,裂缝/错位/隆起路面中度受损,仅一半可通行	107	路面沉降,下陷,地裂缝
70	公路断道,中度损毁一半使用	108	路面拱起/断道/挡土墙受损
71	挡土墙开裂	109	公路损毁,改道
73	地裂缝/地面下陷/轻度断道	112	崩塌长50m,断道
74	地面沉降约100m	109	公路损毁,改道
		112	崩塌长50m,断道

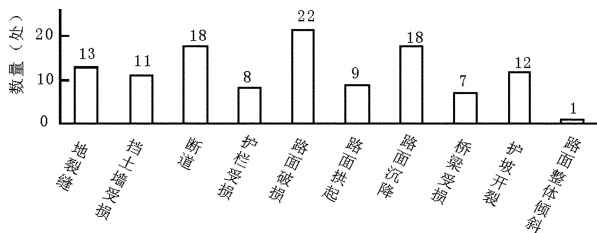


图4 人工调查不同震害类型所占数量

4 结论

秀—北川断裂单向破裂引发,震后高强度余震频发,破坏性强,持续时间长。地震引发的次生灾害主要包括崩塌、滑坡、堰塞湖和泥石流,其中崩塌、滑坡成为阻断交通的主要次生灾害。道路交通系统受损范围十分广泛,损害程度极其严重,使得公路抢通工作难度增加,延误救援的时间。选择都汶公路作为重点研究区域,利用遥感快速提取大范围内次生山地灾害的优势,从宏观上分析山地灾害对公路造成的损毁类型,表明彻底关—映秀一带,G213、都汶公路

5·12 汶川 8.0 级地震由龙门山中央断裂带映

路基被崩塌滑坡完全掩埋现象十分严重,造成巨大的破坏。同时利用 GPS 野外调查准确定位的方法,对映秀—都江堰一线的路基路面直接震害、支挡结构震害类型分别进行分析,发现路基破坏程度与距离震中和断裂带的远近有密切关系;基下方护坡的破坏与所处边坡的坡度有关;公路沿线岩体岩性以及风化破碎程度的不同,对公路产生的损毁程度亦不相同。同时指出在降雨来临之际,防范大规模泥石流的暴发对行车安全和道路交通的影响较为重要。

参考文献:

- [1] 崔鹏,韦方强,何思明,等. 5·12 汶川地震诱发的山地灾害及减灾措施[J]. 山地学报,2008,26(3):280-282.
- [2] Yi G. X., Wen X. Z., Wang S. W., et al. Study on fault sliding behaviors and strong - earthquake risk of the Longmenshan - Minshan Fault Zones from current seismic parameters, Earthquake Research in China,2006,22(2):117-125.
- [3] 崔鹏,韦方强,陈晓清,等. 汶川地震次生山地灾害及其减灾对策[J]. 中国科学院院刊,2008,23(4):317-323.
- [4] 宋金华,张彩利,张雪华. 路基路面工程[M]. 北京:人民交通出版社,2006.

Earthquake Damage Survey of Subgrade and Pavement Based on Remote Sensing and GPS ——A Case Study of Duwen Highway

YU Xiao

(Shandong Mingjia Survey and Investigation Limited Corporation, Shandong Zibo 255000, China)

Abstract: In this paper, setting Duwen high road as an example, using interpretation of remote sensing technology, types of mountain hazards and serious damage on the highway caused by earthquake have been gained. By using GPS, damages on the road are accurately located, information of earthquake damage to pavement have been gained, and result judgement to mountain hazards by using remote sensing technology been tested. It is regarded that different rock lithology and the different levels of weathering will cause different damages on the road; damage levels of pavement have close relation with the distance from the epicenter and fault zones; damage levels of embankment have close relation with the slope angle; landslides generated a lot of loose solid substances, after the rainy season, large scale of mudslides will happen easily. Thus, it is necessary to pay attention and to prevent the effect of mudslides to the road safety and transport.

Key words: Wenchuan earthquake; subgrade; pavement; earthquake damage