

文章编号: 0451-0712(2006)02-0104-05

中图分类号: U419

文献标识码: B

# 全新活动断裂和地裂缝对 公路工程的影响及对策

王启耀<sup>1</sup>, 蒋臻蔚<sup>2</sup>, 彭建兵<sup>2</sup>

(1. 长安大学建筑工程学院 西安市 710061; 2. 长安大学地质工程与测绘工程学院 西安市 710054)

**摘要:** 全新活动断裂和地裂缝灾害是高等级公路工程的安全建设与运营的重要地质病害,是西部交通建设中必须面对且又亟待解决的关键地质问题之一。作者从地裂缝的致灾机理入手,分析了公路工程在断裂活动时的破坏原因及具体表现形式,提出了一些相应的整治措施,并就目前公路工程活动断裂防灾减灾需要解决的一些关键问题进行了说明。

**关键词:** 公路工程; 全新活动断裂; 地裂缝; 防治措施

随着我国经济的快速发展及西部大开发战略的实施,高等级公路在我国大地上快速延伸,规模之大,覆盖面积之广,前所未有。然而,由于不良工程地质条件的作用,特别是西部地区的全新活动断裂及地裂缝,使公路工程建设面临着严重的威胁。建成的公路也往往因全新活动断裂和地裂缝的活动,引起路基路面、桥基桥涵和隧道的变形破坏,造成巨大的经济损失。因此,全新活动断裂和地裂缝灾害已经成为威胁西部地区尤其是高等级公路工程的安全建

设与运营的重要地质病害,是西部交通建设中必须面对且又亟待解决的关键地质问题之一。本文从活动断裂与地裂缝的致灾机理入手,分析了公路工程在断裂活动时的破坏原因及具体表现形式,提出了一些相应的整治措施,并就目前公路工程活动断裂防灾减灾需要解决的一些关键问题进行了说明。

## 1 全新活动断裂和地裂缝的成灾机制

全新活动断裂为在全新地质时期(1万年)内有

基金项目: 国家西部交通建设科技项目(200431881211), 陕西省交通科技项目(03-04K)

收稿日期: 2005-11-13

## Research on Early-Warning Threshold Values for Investment Risk of Infrastructure Projects

ZHOU Gao-ping

(College of Management Engineering, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China)

**Abstract:** To develop the early-warning system of investment risk of infrastructure projects, is to crucially define the early-warning threshold values of investment risk after the early-warning index of investment risk are designed. In this paper, it is researched primarily that how to define the investment divergence threshold values and the construction time divergence thresholds values of infrastructure projects.

**Key words:** infrastructure; investment risk; early-warning threshold value; investment divergence threshold value; construction time divergence threshold value

过地震活动或近期正在活动,在今后一百年可能继续活动的断裂。分为发震断裂(粘滑断裂)和非发震断裂(蠕滑断裂)。地裂缝是地表岩、土体在自然或人为因素作用下,产生开裂,并在地面形成一定长度和宽度的裂缝的一种地质现象。它们的活动都会引起周围岩土体及建筑物的变形和破坏,破坏产生的原因主要有下面3种。

### 1.1 振动破坏

能量集中到一定程度的时候,发震断裂会产生突然的错动,即粘滑活动,发生地震,能量以地震波的形式向周围传播,引起岩土体的振动。当振动加速度过大时,会造成地面的破裂与起伏、建筑物的开裂与倒塌。例如地震时高路堤的倒塌破坏,桥台桥墩的滑移造成落梁、倒塌和坠落等。

### 1.2 变形破坏

无论是断层的粘滑还是蠕滑,都会使断层和地裂缝产生较大的变形。并且这种变形都是三维的空间变形,兼具张拉、剪切和扭动的性质。变形过大时,直接错断其上的建筑结构或者使其因变形过大,影响正常使用。大量的实例证明,活动断裂的不断活动,会使得浅表地质体发生变形、位移和破裂,从而导致地面建筑物的破坏、道路变形、桥梁损坏以及其他生命线工程如地下管道等的错断或损坏。

### 1.3 次生破坏

发震断裂活动时,除了直接产生振动破坏和错动以外,还会时常造成公路沿线发生崩塌、滑坡、砂土液化、地裂缝和地面沉降等次生灾害。

蠕滑断裂和地裂缝灾害是长期活动效应。它们的活动使其周围一定范围的地质体内发生位移,产生形变场和应力场,这些场通过地基和基础作用于建筑物,引起土体和建筑物的破坏。同时地基土体的破坏使得土体强度降低,承载力显著减小,在建筑物自重作用下发生不均匀沉降,导致基础和上部结构产生水平引张和剪切破坏。

对于微破裂开启型地裂缝还因其良好的渗透性,地表水沿缝入渗,产生冲刷和潜蚀,使地裂缝不断扩大,裂缝周围岩土体发生软化<sup>[1]</sup>。对于湿陷性黄土,还会因此产生局部的地面沉降和塌陷(图1)。



图1 地裂缝引起的路面塌陷

开始使路面开裂(图2),接着在雨水的冲刷、侵蚀作用下形成路面塌陷。在青藏公路沿线,就有多处断层裂缝穿切公路路基,形成宽达2~10 cm的路面裂缝,局部产生横穿青藏公路、深达30~50 cm的路面塌陷<sup>[2]</sup>。以垂直错动为主的断裂上盘沉降,在道路上形成路坎,逐渐发展成一道凹槽(图3)。这种破坏在西部公路与城市道路中经常遇见,严重影响了交通运营质量,对行车安全带来严重的隐患。由于各条断裂的活动速率不同,对道路破坏的程度也反映出较大的差异。但是不管破坏程度怎样,对道路的影响都是较大的,即使是在路面产生较小的裂缝,也会影响到建筑材料的性能,缩短工程寿命,影响工程安全。



图2 路面的张拉破坏



图3 断裂活动在公路上形成的路坎

## 2 全新活动断裂和地裂缝对公路工程的危害

### 2.1 对路基路面的破坏

活动断裂构造对公路路基路面的破坏主要表现为水平拉张与垂直错动。以水平拉张为主的断裂一

另外,活动断裂构造与道路夹角的不同,会产生下面2种形式的破坏。

(1)横向破坏。

活动断裂构造与道路以大角度相交,路面出现一道陡坎,就单条裂缝而言,此时对道路的影响范围较小,这种破坏形式在目前发现的事例中占绝大多数,这与公路的布线原则有关。

### (2)纵向破坏。

虽然布线时要尽量使道路与断裂大角度相交,但是由于各方面因素的制约,或者勘察工作的失误,有时道路也与断裂小角度相交,产生纵向破坏,在路面出现长距离的破裂段,影响较大。例如1994年建成投入运营的西安市南二环,在长安路和朱雀大街之间的路段,与当时活动较强烈的F6地裂缝小角度相交,在快车道形成长480 m的裂缝,严重影响了交通质量<sup>[3]</sup>。即使是与道路不直接相交的平行裂缝,当道路在其影响范围以内时,产生的破坏也是不容忽视的。例如太原市徐清县长达15.5 km的地裂缝与大运高速公路平行展布,就严重威胁了公路的安全运营。

## 2.2 对桥梁的破坏

活动断裂对桥梁的破坏要比对道路的破坏严重得多,它不仅反映在维修费用高、时间长、对现行交通影响大,而且维修技术难度也大得多。破坏的主要形式有桥头跳车,桥梁承台破裂,落梁和倒塌。

例如西安市长安路立交,F6地裂缝斜交桥位,尽管在设计时采用特殊的筒支梁桥跨结构和施工时基础加固,但也未能改变地裂缝引起的结构变形(见图4)。另外西安市的东二环互助路立交,西黄高速公路三原大槐树桥梁,我国援建的尼泊尔色迪河桥<sup>[4]</sup>等都因活断层或地裂缝的活动造成不同程度的损坏。

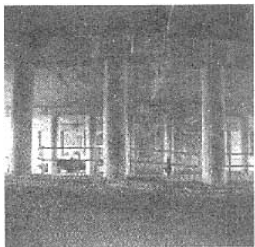


图4 地裂缝引起的桥梁承台错动变形

## 2.3 对隧道的破坏

活动断裂不仅会使隧道出现衬砌裂缝、错断,还会因衬砌破坏而产生漏水、涌水等次生灾害,后果十分严重。另外,隧道进出口边坡因活动断裂而失稳,隧道限界因断层错动而减小等都会对隧道的安全运营带来非常不利的影响。具体表现如下。

### (1)隧道衬砌变形裂损或破坏。

隧道衬砌是承受地层压力、防止围岩变形塌落的工程主体建筑物。根据断裂走向、活动特征以及其与隧道相交情况,隧道衬砌变形裂损或破坏可分为如下4种:断裂与隧道大角度相交时的环向开裂(图5);断裂与隧道小角度相交时的纵向开裂(图6);断裂带与隧道成一定角度斜交时的斜向开裂;当断裂活动量突然变大时的直接剪断。

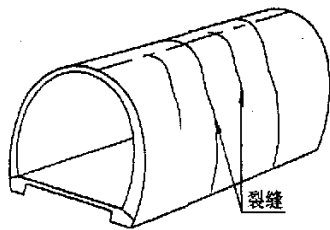


图5 隧道衬砌环向开裂

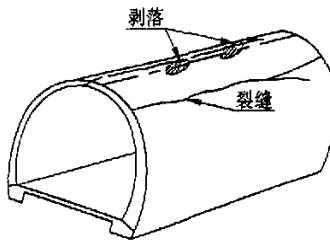


图6 隧道衬砌纵向开裂

### (2)隧道渗漏水破坏。

当隧道穿过或靠近地下含水地层时,会受到地下水的的作用,隧道周围断裂发生活动时,地表水沿着裂缝入渗,对隧道产生较大的动、静水压力,水压力增大到一定程度时,极有可能导致隧道衬砌破裂。另外,地表水沿裂缝的下渗和流动,会冲刷裂缝两侧壁,使裂缝宽度变大,随着水流的冲刷作用的进一步增强,可导致隧道底部土层被掏空,衬砌基础下沉,边墙开裂或使仰拱、道床整体下沉开裂。如果衬砌因断裂活动产生裂缝或错断,水就会渗入隧道,从而出现渗漏水 and 滴水现象,严重时发生大的涌水事故。

## 2.4 对公路边坡的破坏

由于活动断裂的存在,公路边坡和高路堤在其影响下很容易发生崩塌和滑坡<sup>[6]</sup>。不需要高强度的地震,就有可能诱发大规模的边坡稳定问题。边坡的失稳,对其影响范围内的路基路面、桥梁和隧道都会带来不同程度的破坏。

### 3 防治措施

鉴于活动断裂本身的复杂性、破坏的不可抗拒性和灾害后果的严重性,对公路工程活动断裂的防治必须遵循以防为主,整治为辅的原则。整治过程中还必须抗与放相结合,刚柔并济,从结构措施、基础设置及减小断裂活动量等多方面入手,进行综合治理。

#### (1)避让措施。

对于内动力地质作用引起的活动断裂,人类目前尚难以控制,但可以采取有效的措施使损失减少到最小。即在确定公路工程线路时,应考虑对活动断裂敏感区进行避让,在必须通过地段合理布置线路与工程,以预防或减缓灾害的发生<sup>[6]</sup>。例如尽量以路基或桥梁通过活动断裂,同时使道路与断裂大角度相交等,要避免活动断裂穿过隧道或是近距离平行于线路。

#### (2)适当加强。

根据地裂缝的“绕行”现象,对于活动性不强的断裂,可以采取适当的加强措施,减小断裂对道路的影响。对隧道可以考虑适当增加衬砌厚度或者采用钢衬砌,并采取柔性接头。对于路基横向裂缝,处理时可以在路面下边增加一层钢筋混凝土加固板,这样可以把断裂处的大位移分散到整个板长范围,减小路面的突降。例如西安市东二环南段,设计时在一侧的机动车沥青路面层下边增加了一层厚25 cm的钢筋混凝土加固层。建成后一年多路面开裂,对比发现加固的一侧路面裂缝转移到加固板的两侧通过,缝宽1 cm左右,未见明显的下沉部位,行车影响不大;然而未采取加固措施的一侧机动车道,沿地裂缝走向,路面张裂宽5 cm,上盘路面下沉约8 cm,行车感觉强烈不舒服。对于路基纵向裂缝,除了增加一层钢筋混凝土加固板外,再配合一些断层置换方法,可以将与路面重合的裂缝转移到中间隔离带或是绿化带外面。

#### (3)抗断设计。

由于活动断裂破坏的不可抗拒性,对于必须通过断裂的地段,一般采取简支体系跨越的抗断设计。采用该法时,必须对断裂进行详细的勘察,搞清断裂的影响带宽度,使桩基底距地裂缝距离大于一定数值,同时要将所有支座改为可调支座,墩顶预留调整时放千斤顶的位置。同样例如西安市长安路立交,由于采用特殊的简支梁桥跨结构和施工时基础加固,减小了地裂缝活动时对道路的破坏,经过结构变形后的检修和定期跟踪检测,目前运行情况良好。对于隧道也有采用裂缝带断面扩大法,通过调整路面来

适应结构大变形的措施,该法的关键是如何保证隧道大变形时的防水问题。

#### (4)水治理措施。

注意到水既是某些断裂的诱发因素,又是断裂发生后产生次生灾害的最重要原因,因此治理活动断裂必须做好防水工作。除了做好结构本身的防水外,还必须做好下面2点:一是封填夯实已有裂缝,防止地表水进入裂缝中诱发新的裂缝甚至造成斜坡的失稳,或者通过裂缝进入到隧道,对隧道产生一系列的破坏作用;二是采取强有力的措施控制地下水的过量开采,保持地下水储量动态平衡,使水位不再下降,减缓地裂缝活动。实践表明对由于开采地下水而活动加剧的地裂缝,通过限制地下水开采能够大幅减小地裂缝的活动。

#### (5)建立完善的监测预警系统。

鉴于活动断裂的复杂性,建立完善的监测预警系统和数据库是十分必要的。只有通过对监测数据的分析才能较好地掌握活动断裂的发展变化、各因素对断裂活动的影响情况及预测未来的发展趋势。为政府防灾减灾及城市可持续发展提供决策依据和技术支持。

另外,由于活动断裂特别是很多地裂缝是与人类的活动密切相关的,治理时要注意了解其发生的根源,从源头上降低其活动和发展的可能性。

### 4 结语及展望

公路工程活动断裂和地裂缝的减灾防灾是一项庞大的系统工程,尽管前人对此已经做过不少的工作,但是由于断裂活动的复杂性、影响因素的多样性,目前还远没有达到很好地解决这一问题的水平。非常有必要开展进一步的研究工作,就目前而言,需要解决的一些关键问题如下。

(1)活动断裂工程活动性判定。对于地裂缝,一般来讲其活动是可见的,易于判定。对于活断层,从工程角度看,只是全新活动断裂对工程有较大影响,但是由于缺乏对时限的有力支持,弱化了活动性判定的科学性,从而影响到灾害防治措施设计的合理性。

(2)隐伏活动断裂和地裂缝的精确定位。治理措施的实施必须在精确确定断裂位置的情况下进行,但是对于平原地区,这些断裂经常被第四系土层覆盖,具有较大的隐蔽性。

(3)活动断裂和地裂缝对公路工程灾害的定量



评价。目前关于活断层和地裂缝的研究还只是处于定性阶段,但是要进行治理,还必须掌握一些定量的数据。例如在工程使用期内(50~100 a),蠕滑断裂的最大可能位移是多大,隐伏断裂在什么条件下、通过什么机制以什么方式、多大的速率扩展到地面危及公路工程的安全等。

#### 参考文献:

- [1] 王景明,刘贯一,王春梅. 我国地裂缝灾害对城乡建设的危害[J]. 国土资源与环境,2001,(3).
- [2] 吴珍汉,胡道功,等. 青藏铁路沿线的地裂缝及工程影

响[J]. 现代地质,2005,19(2).

- [3] 毛应生,柳丽英,王德信. 西安市地裂对市政构筑物的破坏机理与对策的探讨[J]. 城市道路与防洪,2002,(2).
- [4] 张忠民. 尼泊尔色迪河桥地裂缝成因分析[J]. 中外公路,2003,23(4).
- [5] 卫宏,王兰生. 岷江较场台地震裂缝形成机制及其边坡稳定影响[J]. 中国地质灾害与防治学报,2004,15(4).
- [6] 武强,陈佩佩,等. 我国城市地裂缝灾害问题与对策[J]. 中国地质灾害与防治学报,2002,13(2).

## Influence of Recently Active Fault and Ground Rupture on Highway Engineering and Prevention and Cure Measures

WANG Qi-yao<sup>1</sup>, JIANG Zhen-wei<sup>2</sup>, PEN Jian-bing<sup>2</sup>

(1. School of Civil Engineering, Chang'an University, Xi'an 710061, China;

2. School of Geology Engineering and Geomatics, Chang'an University, Xi'an 710054, China)

**Abstract:** Recently active fault and geofracture are the main geologic hazard to build and run the highway, and it is a key geological problem to be faced in communication construction in the west of China. From the study of hazard causing mechanism, the destroy reasons and their idiographic forms of the highway on active fault are analyzed, and corresponding prevention and cure measures are put forward. Last, some key subjects to resolve the influence of the active fault on highway engineering are also presented.

**Key words:** highway engineering; recently active fault; ground rupture; prevention and cure measures

### 各界隆重纪念茅以升诞辰 110 周年

为缅怀茅以升先生的光辉业绩,“中国桥梁文化论坛暨纪念茅以升先生诞辰 110 周年座谈会”1 月 8 日在北京举行。

茅以升是我国现代桥梁工程的奠基人,著名科学家、教育家和社会活动家。20 世纪 30 年代,茅以升负责设计、修建起了钱塘江大桥,这是由中国人自己设计和施工的第一座公路铁路两用大桥,成为我国桥梁建设史上划时代的建筑。茅以升还曾为武汉长江大桥和人民大会堂的建设作出了重要贡献。

茅以升编撰了《中国古桥技术史》和《桥话》,开创了中国古桥技术和桥梁文化研究之先河。新中国成立后,他长期担任铁道科学研究所所长。他还曾担任唐山路矿学堂(现西南交大)、河海大学、北洋工学院(现天津大学)、北方交大(现北京交大)等院校的教授,为国家培养了一批批土木工程技术人才。他不遗余力地开展科普工作,曾担任中华科普协会副主席,撰写了《中国石拱桥》等一大批科普书籍。

新中国成立后,我国桥梁建设取得了很大成绩。目前,我国有 8 座斜拉桥、5 座悬索桥、5 座拱桥和 5 座梁桥分别在世界同类桥梁中居前 10 位,我国公路桥梁建设跻身世界先进行列。