

西安市地裂缝对城市立交的破坏机理及防治措施

石玉玲^{1,2}, 门玉明^{1,2}, 刘 洋¹, 储春妹¹

(1 长安大学 地质工程与测绘学院, 陕西 西安 710054;

2 长安大学 西部地质资源与地质工程教育部重点实验室, 陕西 西安 710054)

摘要: 论述了西安地裂缝的空间分布规律和活动特点, 并对地裂缝给西安市市政基础设施特别是城市立交带来的灾害进行了系统分析。以长安路立交、互助路立交、绕城高速长安南路立交的现场调查资料为依据, 分析了地裂缝对城市立交的破坏模式。认为其结构的主要破坏模式为水平张拉和垂直错动。另外对穿越地裂缝的城市立交的减灾措施以及对拟建工程进行地裂缝专项勘察和采取的结构措施等方面进行了探讨。

关键词: 地裂缝; 城市立交; 破坏机理; 防治措施

中图分类号: P642.26 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6561(2009)01-0089-05

Research on the Destruction Mechanism of City Overpass by Ground Fissure in Xi'an City and the Controlling Measures

SHI Yu-ling^{1,2}, MEN Yu-ming^{1,2}, LIU Yang¹, CHU Chun-mei¹

(1. School of Geological Engineering and Surveying, Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China; 2. Key Laboratory of Western China's Mineral Resources and Geological Engineering, Ministry of Education, Xi'an 710054, Shaanxi, China)

Abstract This paper discusses the spatial distribution, activity characters of ground fissure and its destruction to municipal facilities, especially the interchange of Xi'an city. Based on the site investment data of Chang'an Road, Huzhu Road, Bypass in South Chang'an Road, the damage models of interchange by ground fissure is analyzed. The main models are horizontal tension and vertical dislocation. The authors propose reasonable measures to reduce the damage to interchange crossing the ground fissure, including taking special investigation on proposed project, structural measures and so on. Some instances of projects validate the efficiency of the measures. All these are foundation of further study of the technical countermeasures of disaster reduction engineering in the future.

Key words: ground fissure; urban overpass; destruction mechanism; prevention measures

0 引言

西安地裂缝作为一种独特的地质现象, 曾引起国内外诸多专家学者的关注, 并于 20 世纪 70~80 年代进行过多方面综合研究, 取得了一批重要的研究成果^[1-7]。经过多年的研究, 专家一致认为西安市地裂是黄土塬地区一种特殊的环境地质灾害, 它属于典型的多因迭加地裂, 既有构造地裂的基本特

征, 又有地面沉降地裂的位移迭加^[3-4, 6]。此类地裂在中国西北、华北地区的一些城市都有存在, 尤以西安市最为严重, 给城市建设工程造成了数亿元的直接损失。从 20 世纪 60 年代起, 地质工作者对西安地裂缝的分布、产生原因以及活动规律、特点进行了数十年的监测和研究, 取得了很多重要成果^[3-4, 8-9]。2006 年修订了《西安地裂缝场地勘察与工程设计规程》(DBJ 61-6—2006)^[10], 制定了工程

收稿日期: 2008-06-20

基金项目: 中国地质调查局项目(121201064140); 陕西省自然科学基金项目(2007606); 长安大学校青年基金项目(06Q06)

作者简介: 石玉玲(1972-)女, 河北曲周人, 讲师, 工学博士研究生, 从事工程地质、岩土工程教学研究。E-mail: dcdgx15@chd.edu.cn

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

结构具体的避让规定。但是市政工程不同于工业民用建筑,常常无法避让。如道路与桥梁、给水、给气等往往属于生命线工程,它们的破坏会立即给市民生活带来困难,甚至导致整个城市正常秩序陷入瘫痪。特别是近年来修建了大量的城市立交,这些立交的正常运营正天天受到地裂缝运动的影响。然而多年来,面对地裂缝对市政工程的破坏,市政部门只能被动地应付,破坏一处,检修一处,治标不治本。随着科学技术的快速发展和西安城市建设可持续发展的需要,改以往的被动处理为主动解决就成为一个亟待解决的重要任务。

1 分布及活动特征

1.1 空间分布

西安地裂缝是在地质环境控制下,空间上具有三维变形特征的地表线状裂缝,它是发育在西安市区内的一种独特的城市地质灾害^[3-4]。自 20 世纪 50 年代以来,在西安市已发现地裂缝 14 条(其中第 14 条为李新生 2007 年首次发现),分布范围西至浐河,东到纺织城,南起三爻村,北至井上村,面积约 160 km²,这 14 条地裂缝绝大多数超过 10 km,总计 140 km,其中 75% 以上都显露出地面,并造成大量工程构筑物的破坏。这些地裂缝基本都显示出南倾南降、倾滑张裂的特点,一般由一条主裂缝几条次裂缝组成,发育宽度多数为几米,个别的宽达百米以上。

通过对西安地裂缝已有研究成果的分析可知,地裂缝在平面上具有明显的方向性、成带性、似等间距性、位错同步性和多级性以及剖面上的结构组合形式多样性等展布规律。

西安地裂缝在剖面上的形态一般为上宽下窄的楔形,向下逐渐变窄变少,最深达 300 余米。地裂缝主体倾向南,倾角较陡,一般在 70° 以上。主干地裂缝与次级地裂缝在剖面上的组合形式具有多样性的特点,大致概括为阶梯状(图 1a)、“y”字型(图 1b)和追踪式(图 1c)3 种,其中“y”字型颇具构造意义,它是地裂缝南盘下降、北盘上升的垂向剪切作用在地表自由面上产生末端张裂效应的结果^[1]。

1.2 活动特征

根据 1960 年以来所监测的各条地裂缝年平均垂直活动速率的资料,将这些地裂缝活动划分为 3 级:①活动强烈,速率> 30 mm/a;②活动较强烈,速率 5~30 mm/a;③活动微弱,速率< 5 mm/a。

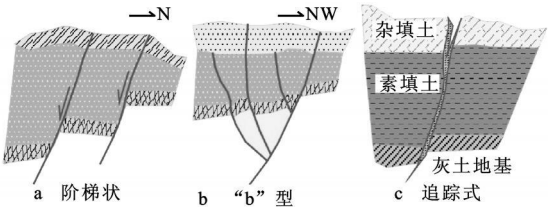


图 1 西安地裂缝带剖面组合形式

Fig. 1 Combination Forms of the Cross Sections in the Belt of Ground Fissure in Xi'an

这些地裂缝的垂直沉降速率以 5~35 mm/a 居多,最大达 55.06 mm/a。就其活动特点而言,西安市地裂缝具有较明显的活动速率的不均匀性、活动方式的一致性和位错同步性。

2 对城市立交的破坏实例及模式

地裂缝对市政工程的影响包括很多方面,其中城市立交作为一种结构在地裂缝作用下产生的破坏最引人注目。这不仅因为其维修费用高、时间长、对现行交通影响大,而且维修技术难度也大多。

2.1 破坏实例

2.1.1 长安路立交

1994 年建成通车的长安路上跨南二环立交(简称长安路立交)为两层变形苜蓿叶互通式立交, F₆ 地裂缝斜交桥位(图 2),自桥梁建成起,西安市政设计院就对其进行定期跟踪检测,表 1 列出地裂缝通过的其中一组相邻墩顶盖梁竖向变位几年来监测的结果。

2007 年 8 月份,笔者等再次就长安立交地裂缝对桥梁的破坏情况进行了调查。结果发现,由于 F₆ 地裂缝的影响,桥面板的交界缝形成错动,桥栏多处出现水平错动和垂直错动,其中最大垂直错动位于立交的北段,达 2.5 cm(图 3),最大水平错动位于立交中央东侧,达 10 cm(图 4)。

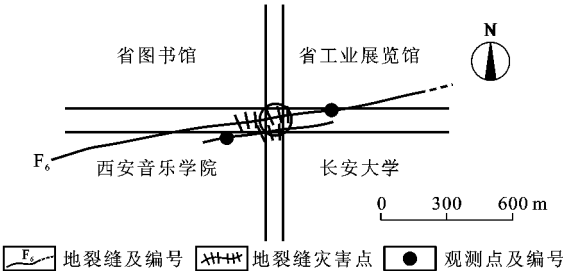


图 2 F₆ 地裂缝平面展布

Fig. 2 Plan of Ground Fissure F₆

表 1 沉降量变化
Tab. 1 Variation of Settlement

| 观测日期 | 沉降量/mm | 观测日期 | 沉降量/mm | 观测日期 | 沉降量/mm |
|------------|--------|------------|--------|------------|--------|
| 1994-02-25 | 0 | 1995-12-25 | 66 | 1997-04-02 | 105 |
| 1995-02-25 | 41 | 1996-03-13 | 77 | 1997-05-27 | 108 |
| 1995-03-25 | 47 | 1996-04-25 | 83 | 1997-08-27 | 114 |
| 1995-05-26 | 48 | 1996-05-28 | 87 | 1997-10-29 | 124 |
| 1995-06-26 | 50 | 1996-06-26 | 90 | 1998-05-25 | 136 |
| 1995-07-25 | 55 | 1996-10-25 | 93 | 1999-01-25 | 148 |
| 1995-08-24 | 59 | 1996-11-28 | 97 | 1999-07-31 | 161 |
| 1995-10-25 | 61 | 1997-01-25 | 100 | 2000-01-15 | 170 |
| 1995-11-26 | 66 | 1997-02-28 | 100 | 2001-01-25 | 190 |

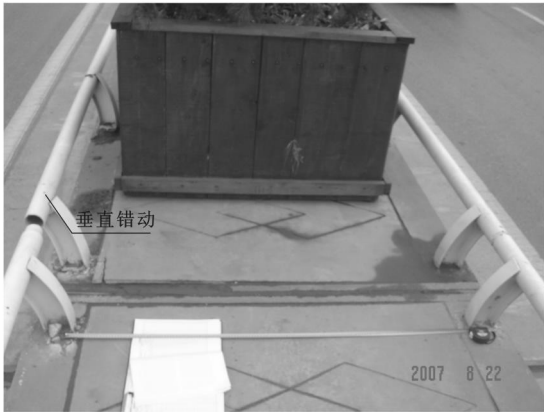


图 3 地裂缝引起的桥栏垂直错动

Fig. 3 Vertical Offset of the Railing of Chang'an Overpass Caused by Ground Fissure



图 4 地裂缝引起的桥栏水平错动

Fig. 4 Horizontal Offset of the Railing of Chang'an Overpass Caused by Ground Fissure

同时, 笔者还对该立交桥下路面及周围情况进行了调查, 结果发现, 在立交桥下地裂缝已引起路面多处开裂, 可见裂缝最长达 10 m, 宽 30 cm, 走向 50°~65°(图 5)。此外, 在立交桥南侧桥墩面上裂开约 12 条裂缝, 间隔约 3 m, 均垂直地面。调查中

还发现, 在立交桥下东北侧慢车道的裂缝起始端位于快慢车道交界栏处, 错动较大, 整体上上部错动比下部大, 上部垂直错动量 20 cm(西高东低), 水平错动量 6 cm(西→北, 东→南), 下部垂直错动量 13 cm, 水平错动量 3.5 cm(图 6)。裂缝向东北延伸, 所经之处地形下陷, 呈现凹槽状。距此裂缝约 45 m 以东路面有一条同向裂缝, 长 8 m, 裂缝宽 2.0~3.5 cm, 向东北延伸, 路边草坪内仍可见, 走向近东西向, 呈串珠状陷落洞出现。



图 5 长安立交桥下路面破坏情况

Fig. 5 Damage to the Road Way of Chang'an Overpass



图 6 长安立交东北侧慢车道在地裂缝作用下的破坏

Fig. 6 Damage to the Slow Traffic Lane in the Northeast of Chang'an Interchange

通过西安市政设计院多年来的监测资料以及此次的地裂缝调查分析可知, 上述破坏仅引起桥梁几何变形, 并未对结构产生大的受力破坏; 这些几何变形在桥面上被桥中央分隔带和机动车、非机动车分隔带消化, 也未对桥面行车带来大的影响。目前采取的主要措施是加强监测, 防止出现落梁的严重后果。

2.1.2 互助路立交

1997 年建成的东二环互助路立交, F₅ 地裂缝

斜交通过桥位。该桥设计采用双悬臂钢箱梁,主跨 50 m,跨越地裂缝,相邻两墩落在地裂微变形区之外。2001 年检测时桥下路面已出现上盘沉降,路面张裂 2~3 cm,桥梁结构无非正常变形。

2.1.3 绕城高速长安南路立交

西安南绕城高速公路, F₉ 地裂缝与桥位小偏角相交,经过近几年的营运,引桥部分浆砌片石已经出现明显的裂缝,但主体结构尚无明显变形。2007 年 8 月,笔者等再次对绕城高速立交进行调查。结果发现在绕城高速长安南路立交入口处,裂缝横穿入口上覆路及通往长安区的路面。在上覆路路基墙体上明显可见张裂,缝宽 2~4 cm (图 7)。同时此段整体为南侧沉降,所以形成垂直错动,错动量约 3 cm。此段裂缝整体走向 75°,裂缝从东上覆路穿过,在路面上可见。在西侧上覆路路面上形成两条并行裂缝,宽均约为 3 cm (目前已修补),间隔 5 m,此两条裂缝走向约 110°,横穿路面。在立交入口东侧,路面上形成南低北高、垂直错距达 8~11 cm 的错动(图 8)。此段裂缝局部走向 55°,路面板完全被错开,透过缝可见路基土体及空洞,深度内裂缝垂直向下深入。裂缝穿过道路向东北方向延伸,转为走向 70°左右,进入新都酒店院内,致使该院围墙西南角裂开严重。在入口西侧路面,裂缝走向约 70°,在路面上形成明显裂缝,以与路走向呈 50°夹角穿过道路,到达路西北侧,以平行路走向继续延伸,穿过墙体,使墙体错动开裂,形成 2~4 cm 宽的缝,继续向西南延伸,致使施工场地围墙(修建不久)开裂,形成宽 0.5 cm 的垂直裂缝。因该路段修建时间不长,从以上活动情况分析判断,此处裂缝

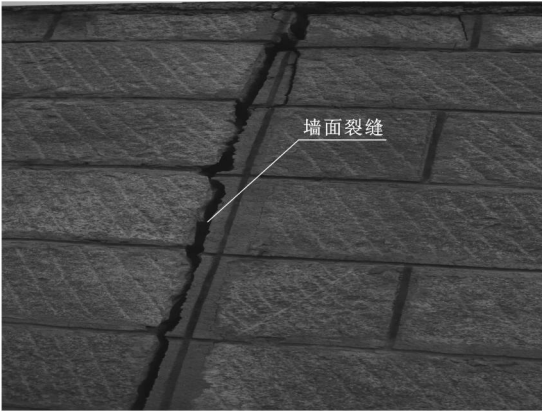


图 7 长安南路立交入口处上覆路基墙体开裂
Fig. 7 Crack in Wall of the Entrance of South Chang'an Road Overpass

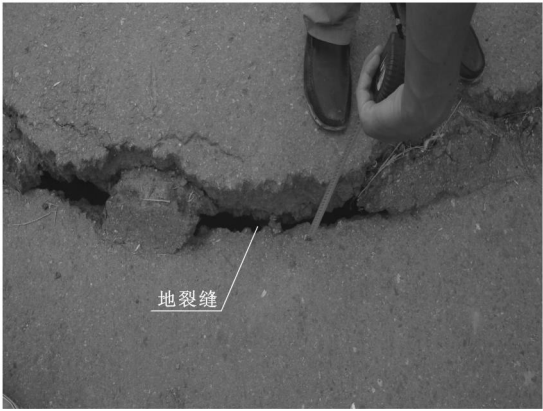


图 8 绕城高速长安南路立交入口东侧地裂缝
Fig. 8 Ground Fissure in the East of the Entrance of Highway South Chang'an Road Overpass

不稳定,近几年仍有较大活动的可能。在考察中还发现,由于此立交桥整体刚度较大,运行时间也不是很长,所以,到目前为止,地裂缝还没有对桥体造成严重破坏。

2.2 破坏模式分析

通过以上调查不难发现,西安城市立交在地裂缝活动影响下,出现了水平张拉和垂直错动的破坏形式,地裂缝穿过这些桥体时,并不是沿着原有方向使桥体发生破坏,而是在桥体相对薄弱的部位找到突破,通过桥体以后,裂缝又沿着原有方向继续延伸。而在桥下的路面上,裂缝一般都是沿着原有方向通过,并在路面上形成裂缝。这说明地裂缝主要是由构造引起,局部改变不会导致地裂缝发育方向的改变,但是在局部强度和刚度比较大的情况下可以局部改变其发展方向。这也正是路面上的破坏往往是沿着地裂缝发育方向破坏而立交桥的破坏往往发生在强度和刚度薄弱部分的原因。

3 地裂缝对城市立交破坏对策

地裂缝对城市立交的破坏已引起市政工作者和政府部门的高度重视。近年来,政府已经采取了多项措施以减轻地裂缝的活动,工程人员也从多方面进行了防范。

3.1 对拟建工程进行地裂缝专项勘察

尽可能多地搜集该地裂缝活动的历史资料,用多年测得的变形平均值作为设计参考值,不可仅用近 1~2 年的变形值,尽量避免使工程坐落在主变形区。

3.2 采取结构措施以减轻地裂缝对城市立交的影响

(1)1994 年建成的长安路立交, F₆ 地裂缝斜交

桥位,由于选定的立交方案需在地裂破碎带上设墩,为此在设计施工图时桥跨结构采取了如下措施:①桥跨结构采用静定体系——简支梁,跨径布置为10.2 m+13.5 m+13.5 m+10.2 m;②由于桥面较宽(51.5 m)设计时以中央分隔带和机动车、非机动车分隔带为界,在顺桥向设计为4个独立的桥,以减少桥面板的整体宽度;③因部分桥墩基础落在地裂主变形区内,为防止采用桩基而被剪断的危险,故采用了扩大基础并根据桥梁纵横向布置而独立修筑;④加强基础设计,墩基设计为1.5 m厚的钢筋混凝土并增加了配筋用量,下为1.5 m厚的3:7换填夯实灰土(施工时变更为下铺玻璃丝布上填砂砾石和片石混凝土)。台基设计为0.75 m厚的钢筋混凝土,下为1.5 m 3:7灰土换填。上述措施,使得2 964 m²的桥被分为如同16个“豆腐干块”,以适应未来地裂引起的结构变形^[10]。

(2)1998年完成施工图设计的东二环跨火车站立交工程。该工程主桥为112 m+256 m+112 m双塔双索面斜拉桥,之后在距北边墩之外18 m处发现F₆隐伏地裂通过,为此提出了如下对策:①在立交范围南北长3.6 km、东西宽1.7 km范围内,由政府采取措施关闭开采地下承压水的自备井、地热井;②改变北边墩桩长,使桩基底距地裂缝距离大于10 m;③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;④立交范围采取严格的防水措施,避免水浸入地裂缝而诱发和加剧地裂缝的活动。陕西省和西安市政府对此十分慎重,地裂缝作为原因之一决定将上跨东边改为下穿^[10]。

(3)西安东绕城高速公路, F₉地裂缝与桥位小偏角相交,该桥设计采取了以下对策:①为了减小跨径,将上、下行桥梁分体修建,两幅桥下墩台排列没有对齐,墩台基础置于地裂缝变形区之外;②桥跨采用简支梁体系;③为了减小以后桥梁维修时顶升重量,采用了钢箱梁结构,并在墩台顶预留了放置千斤顶的位置^[11]。

(4)1988年西安东西快速干道方案设计时,在西段高架桥与F₂地裂缝重合数百米,尽管该范围已是西安市规划预留的一条交通通道,为了保证工程的安全性,不得不增加拆迁量将该线位局部向北偏移30多米。此外,东二环北段高架桥和东西快速干道东段十里铺立交桥都遇到了F₂或F₃地裂缝,设计中也采用了上述相类似的措施^[11]。

以上这些措施通过实践证明都是行之有效的。

这些立交桥在通车以后,虽然有地裂缝频繁活动,也给立交桥带来一些危害,但通过采取这些措施,都能很好地减轻这些危害,对桥体结构没有造成重大危害。

3.3 其他措施

查明西安地裂缝频繁活动的原因,针对这些原因采取相应措施减少地裂缝的活动。

4 结语

(1)近年来西安市政府针对西安地裂缝的活动采取了一系列措施,使西安市的地裂缝活动量大大减少。但是,由于西安所处的特殊地理环境,还不断有新的地裂缝出现,而且有些地裂缝活动还有加剧的趋势,所以对地裂缝还需要进一步的深入了解。

(2)城市立交跨地裂缝修建时,应尽量采取约束较少的简支结构,并对立交进行合理地分块,以减轻地裂缝对城市立交的危害。同时,避免桥墩位于主裂缝上,特别是尽量避免桥墩坐落在上盘,并加强对立交桥的监测。如果无法避免时,应尽量增加立交本身的强度和刚度,使得地裂缝尽量绕开立交桥发育,至少可以起到减缓地裂缝破坏的作用。

(3)市政构筑物穿越地裂缝的对策,是一个多学科复杂和难度较大的工程课题,有很多问题需要深入研究。

参考文献:

- [1] 彭建兵,张 骏,苏生瑞,等.渭河盆地活动断裂与地质灾害[M].西安:西北大学出版社,1992.
- [2] 张家明.西安地裂缝研究[M].西安:西北大学出版社,1990.
- [3] 门玉明,石玉玲.西安地裂缝研究中的若干重要科学问题[J].地球科学与环境学报,2008,30(2):172-176.
- [4] 李永善,李金正,卞菊梅.西安地裂缝[M].北京:地震出版社,1986.
- [5] 王景明.地裂缝及其灾害的理论与应用[M].西安:陕西科学技术出版社,2000.
- [6] 王景明,王春梅,刘 科.地裂缝及其灾害研究的新进展[J].地球科学进展,2001,16(3):303-313.
- [7] 彭建兵,范 文,李喜安,等.汾渭盆地地裂缝成因研究中的若干关键问题[J].工程地质学报,2007,15(4):433-440.
- [8] 武 强,陈佩佩.地裂缝灾害研究现状与展望[J].中国地质灾害与防治学报,2003,14(1):22-27.
- [9] 长安大学.西安市城市快速轨道交通二号线穿过地裂缝带的结构措施专题研究[R].西安:长安大学,2007.
- [10] DBJ 61-6—2006.西安地裂缝场地勘察与工程设计规程[S].
- [11] 毛应生,柳丽英,王德信,等.西安市地裂对市政构筑物的破坏机理与对策的探讨[J].城市道桥与防洪,2002(6):1-6.