

# 西安地裂缝研究中的若干重要科学问题

门玉明, 石玉玲

(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:** 分析了西安地裂缝的研究现状, 认为目前西安地裂缝研究尽管取得了许多成果, 但研究仍以定性分析为主, 在定量研究方面并不多见, 不能满足当前城市建设防灾设计对地裂缝研究的需要。因此, 针对近年来地裂缝研究中遇到的问题, 提出了西安地裂缝研究中的几个重要科学问题, 即: 西安地裂缝的剖面结构特征; 西安地裂缝的活动趋势与工程寿期内的位错量预测; 地裂缝活动环境下的土与结构相互作用分析方法; 地裂缝地带的结构累积破坏理论; 跨地裂缝带重要结构物的安全监测理论以及地裂缝地带结构的维护理论, 这些理论都是西安地裂缝研究中亟待解决的重要科学问题, 希望引起同行的共同关注和深入研究。

**关键词:** 西安; 地裂缝; 研究现状; 科学问题; 土与结构相互作用; 安全监测

**中图分类号:** P642.26 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6561(2008)02-0172-05

## Some Important Scientific Questions in the Research on Xi'an Ground Fissures

MEN Yu-ming, SHI Yu-ling

(Key Laboratory of Western China's Mineral Resources and Geological Engineering,  
Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China)

**Abstract** This paper summed up the research situation of Xi'an ground fissures, on despite there had many achievements, but in general, the current research work is still mainly qualitative results and quantitative research results are rare, this situation cannot meet the need of current design of urban construction and disaster prevention and ground-fissures research. For problems that have recently encountered in the ground fissures research, it brought up several important scientific questions in Xi'an ground fissures research. They are follows: the structure Features of profile of Xi'an ground fissures; the active tendency of Xi'an ground fissures and the dislocation forecasts during the period of project; the analysis method including soil-structure interaction under the ground fissures active circumstances; the theory of the structural destabilizing accumulation in ground fissures zone; the safe monitor theory of important structures crossing ground fissures belt, and the theory of the structural maintenance in the ground fissures zone. These theories are the important scientific questions which need to be solved urgently in the Xi'an ground fissures research. We hope the colleague scholars to pay attention to these questions and do deep researches on them.

**Key words:** Xi'an; ground fissure; research advancement; scientific question; soil-structure interaction; safety supervise

## 0 引言

地裂缝是一种缓慢发展的渐进性地质灾害, 在

世界上许多国家都有发育, 如美国、新西兰、日本、墨西哥、德国、瑞士、加拿大等国都产生过多种不同类型的<sup>[1-4]</sup>的地裂缝。中国的地裂缝分布十分广泛,

收稿日期: 2008-05-15

基金项目: 国家自然科学基金项目(40772183); 国家自然科学基金重点项目(40534021); 中国地质调查局项目(1212010641403); 陕西省自然科学基金项目(2007606)

作者简介: 门玉明(1957-), 男, 陕西西安人, 教授, 博士研究生导师, 从事岩土工程及地质灾害教学与研究。E-mail: domenym@chd.edu.cn

且近年来具有范围不断扩大、危害不断加重的趋势。在陕西、山西、河北、山东、广东、河南及京津地区等10多个省、市的300多个市县已发现地裂缝1000多处,危害严重的有400多处。由于地裂缝两侧地质体的相对沉降以及水平方向的拉张和错动,使地表及地下设施发生严重破坏或造成建筑物的地基失稳,给人民生命财产造成巨大损失。据不完全统计,中国由于地裂缝灾害造成的经济损失已达数十亿元。

在中国已发现的地裂缝中,西安地裂缝的规模及造成的灾害都是非常典型的。自1959年在城南小寨西路3号院和城西南西北大学等地零星发现地裂缝以来,在西安市城区及近郊已发现的具有一定长度规模的地裂缝达14条之多<sup>[5]</sup>,它们均呈北东东向等间距排列,且同步南倾南降,斜穿市区,地裂缝出露总长度达72 km,延伸总长超过100 km,地裂区面积超过150 km<sup>2</sup>。地裂缝严重影响着西安城市建设与人居安全,成为举世闻名的城市地质灾害。西安地裂缝从20世纪70年代起就受到人们的关注,从1977年起,有关单位开始进行了有组织的调查研究。经过许多专家及学者多年的潜心工作,已基本查明了地裂缝的平面展布特征,并从地裂缝的形成机理、活动特征、空间分布、减灾途径及对策等方面进行了多方位的研究。

近年来,随着国家对地质灾害研究工作投入力度的增加和西安市城市建设的快速发展,促进了西安地裂缝研究工作的进一步开展。笔者主要针对近年来参加地裂缝研究工作中遇到的问题,总结了西安地裂缝研究中的几个重要科学问题,希望引起同行专家的共同关注和深入研究。

## 1 西安地裂缝研究现状

从现有文献资料来看,1977年以来,西安地裂缝的研究大体经历了3个阶段。

(1)1977~1979年为第1阶段,主要是从地震地质方面对地裂缝进行研究,研究的目的是确定地裂缝与地震的关系,所作的调查分析也是为了捕捉地震的前兆信息。

(2)1979~2005年为第2阶段,其研究主要集中在地裂缝的成因与演化规律、地裂缝的活动灾害与防治对策等方面。研究提出了西安地裂缝的构造成因、地下水开采成因及构造与地下水开采复合成因3种学说,并随着研究的深入,逐渐将其认识

统一到构造与地下水开采复合成因学说上来;建立了西安地裂缝的多种概化模型,如断块掀斜成因机制模型、构造重力扩展机制模型等;制定了西安市地裂缝场地勘察与工程设计规程;提出了一些切实可行的地裂缝防治对策并将其应用到工程实际中。至20世纪末的20多年内,研究西安地裂缝的专著<sup>[6-10]</sup>和学术论文众多,其从西安地裂缝的形成机理、活动特征、发展趋势、减灾途径及对策等方面进行了深入广泛的研究<sup>[11-18]</sup>,但这一时期的地裂缝研究与结构防灾设计并未建立直接深入的关系,对于各类建筑结构,仍以绕避方法为主,研究主要以定性分析为主,在定量研究方面并不多见,这与当时西安市城市建设的工程背景是分不开的。众所周知,直到西安地铁工程立项建设以前,西安市的大型建筑工程主要以高层建筑等单体建筑为主,对这些建筑工程,只要采取合理的避让措施,就能达到防灾减灾的目的。尽管存在一些跨地裂缝带的线形工程,如道路、城市立交、地下供排水管道等,规模都比较小,虽然有出现破坏的实例,但造成的损失也很有限,修复也不十分困难,因此,工程现状并不要求对地裂缝做出定量分析,因而对这一问题的研究一直局限在定性分析上。

(3)2005年以后为第3阶段。随着西安地铁工程的立项与建设,对西安地裂缝带上的结构防灾设计已成为不可回避的问题。自2006年以来,长安大学等单位围绕这一重要问题开展了有效的研究工作,这一工作标志着西安地裂缝研究进入了量化研究的新阶段。

近年来,随着城市化进程的加快,城市人口不断增加,城市建设用地和地面交通拥挤的问题越来越突出。为了缓解城市人口的压力,改善城市的交通条件,开发和利用城市地下空间已成为城市现代化改造与建设以及解决中心城区高密度人流疏散、扩充基础设施容量、提高城市综合防灾能力、节约土地资源的最为有效的途径之一。在地裂缝发育的地带修建地铁、地下管线等工程已成为不可避免的事实,如西安地铁2号线已全线开工建设,市政管道等近年来也进行了扩容。大型工程建设的需要,给地裂缝灾害研究提出了一系列新的课题:地铁、地下管线等工程结构物通过地裂缝带时,对地裂缝的活动会产生什么样的影响?地裂缝活动时,地下结构与周围土体是如何相互作用的?地铁隧道等结构通过地裂缝地带时,设防宽度应如何考

虑? 地裂缝与结构轴线的交角不同, 对结构的形变和应力分布有何影响? 对跨地裂缝地带的地下结构如何进行安全监测? 深入研究这些课题, 对于地裂缝发育城市的地下工程建设不仅是需要的, 也是亟待解决的重要问题。由于人们以往对地裂缝的研究主要集中于对其成因机理及活动规律的研究, 关于地裂缝活动时地层与结构相互作用等问题还很少涉及, 其研究基础尚处于十分薄弱的地步, 对这些问题进行系统深入的研究, 无疑将会使地裂缝灾害防治的研究得到进一步的丰富和深化, 并使地裂缝的研究成果与工程建设的结合更加紧密。

## 2 地裂缝研究的若干重要科学问题

纵观西安地裂缝的研究, 尽管取得了一系列重要成果, 但由于该问题的复杂性, 目前的成果与工程设计的精细要求尚有一定的差距。要使这一研究工作得到进一步的深化, 并能更好的为重大工程服务, 以下几个重要问题需要进一步深入探讨。

### 2.1 西安地裂缝的剖面结构特征

通过数十年勘察及研究资料的积累, 人们对西安地裂缝的平面展布特征已有了较为清晰的认识, 随着勘察工作不断深入, 对西安地裂缝的认识正在不断深化。这些成果的取得, 对地裂缝地带建筑物的平面布置及防灾设计起到了重要的指导作用。多年来, 人们正是依据对地裂缝平面展布特征的认识, 在建筑物的平面布置上, 通过避让的方法, 使大量的建筑物避开了地裂缝灾害的影响, 使其免遭破坏。随着城市建设的发展, 地铁等大型线形建筑物的修建, 已难以完全采用绕避的办法来实现对地裂缝灾害的防御, 尤其是地铁、天然气管线等重要工程的建设, 给地裂缝灾害的预防提出了更高的要求。对于地铁等线形结构物的防灾设计, 不仅要知道地裂缝的平面分布特征, 还必须清楚各地裂缝的剖面特征, 这样才能正确分析在地裂缝活动时结构的破坏特征及部位, 以便对症下药, 采取经济有效的设防措施。但从目前的研究成果来看, 这方面的工作还很薄弱, 不同的人对地裂缝剖面模式的认识并不一致。有人认为地裂缝的影响范围是很有限的, 其变形仅限在一个局部地带内, 也有人认为从一条地裂缝到另一条地裂缝之间, 在剖面上呈现台阶状。由于缺乏长期有效观测资料的实际验证, 加之各部门对有限的观测资料的互相封锁, 使得人们对该问题的认识至今仍存在较大差异, 导致设计人

员往往无法适从。

地裂缝的成因不同, 引起的地面形变及剖面破裂的形式各异, 而不同的形变及地层破裂形式, 对跨地裂缝带结构的形变和应力分布将会产生重大影响, 因此, 在研究地裂缝活动环境下的地下结构防灾设计时, 首先必须明确地下结构所处位置的地层破裂特征。但在目前的地裂缝研究中, 对其平面展布特征描述较多, 对其剖面破裂形式虽有一些成果, 但大都是粗线条的, 基本属于定性分析程度, 将其用于跨地裂缝带的结构分析和设计, 尚须做更深入的工作。

### 2.2 西安地裂缝的活动趋势与工程寿期内的位错量预测

地裂缝的活动趋势及在工程寿期内的活动量预测是西安地裂缝研究中亟待解决的重要问题, 它直接关系到工程结构形式的选择和预留变形量的大小, 不仅关系到工程造价, 更关系到工程的安全应用及对跨地裂缝结构的全寿命评价, 尤其在跨地裂缝带的地铁隧道设计中, 如果实际位错量超过了隧道预留位移量, 将给列车运行造成严重隐患, 甚至使运营中断。地铁隧道是地下工程, 一旦出现渗漏或破坏, 其修复的代价是很大的, 造成的社会影响及经济损失也是巨大的。因此, 合理预测地裂缝的活动趋势与工程寿期内的最大位错量, 对正确进行地下工程设计有着重要作用。目前在这方面的研究成果也很少见到。从现有文献来看, 已有的对西安地裂缝进行的活动趋势分析及活动量预测的合理性尚待进一步证实, 总体上还需要更加充分有力的证据。开展这方面的研究, 是当前西安地裂缝研究中的重要课题, 也是非常迫切的任务。

### 2.3 地裂缝活动环境下的土与结构相互作用

土与结构相互作用是当前正在深入研究且又具有十分重要意义的课题<sup>[19-20]</sup>, 对地层—地下结构的相互作用研究, 国内外已取得了大量成果, 但将其置于地裂缝活动环境下来进行研究, 则是一个全新的课题。地裂缝活动时, 处于地裂缝活动带的地层与结构相互作用问题与静止土相比有较大不同, 在此情况下, 地层与结构的接触界面具有更复杂的力学性质及形态, 它们之间除了在界面处显示出一定的摩擦特征外, 在局部地带(主要是隧道底部)还存在脱空现象。摩擦力的分布规律和大小, 脱空区的部位和尺度, 都将对结构的形变及力学分析带来影响。地层与结构的界面力学形态的变化, 使其相

互作用过程处于动态变化之中,如何正确反映这一变化,建立起合理的地层与结构相互作用模型,是地裂缝地带结构设计尤其是跨地裂缝带的线形结构,如地铁隧道、地下管线等结构防灾设计研究中亟待解决的重要问题。

西安是一个地震高烈度区,抗震设防问题比较突出,在地裂缝环境下地层与结构动力相互作用有什么特点,应如何分析,同样是地裂缝环境下结构分析的难题,这一问题远比一般情况下的地层—结构动力相互作用问题复杂。目前,在结构抗震方面的研究成果主要是用确定性分析方法,而实际上,地震作用是一种随机作用,用随机振动理论进行分析更加合理,但因为其难度更大,国内外在这方面的研究成果并不多见。至于处在地裂缝环境下的结构动力可靠性分析,更是属于空白。通过对这一基础性课题的深入研究,可以建立起地裂缝环境下结构的随机地震反应分析理论及其抗震设计的基本准则,为结构的抗震分析提供新的理论依据。

#### 2.4 地裂缝地带的结构累积破坏理论

地裂缝地带结构在变形场、应力场、温度场和渗流场等多场耦合作用下的分析方法及渐进累积破坏理论是地裂缝地带结构防灾研究的又一重要科学问题。对于上部结构在地基变形时的破坏机理与破坏形式,人们已有较深入的认识,但对于地裂缝活动时的结构累积破坏理论研究,至今还是空白。从近年来对清徐、大荔、泾阳、西安等地裂缝的调查结果来看,地裂缝对结构造成的危害是多样的、严重的,同时也是较复杂的,至于地下结构在地裂缝作用下的累积破坏机理及破坏形式,因过去所做工作极少,需要作更深入的研究工作,以便为地裂缝地带的结构防灾设计及剩余寿命评估打下更好的基础。

#### 2.5 跨地裂缝带重要结构物的安全监测理论

通过地裂缝带的结构,在地裂缝活动时,结构的破坏不仅表现在结构出现不允许的变形或开裂,也会由于结构变形缝的张开而出现渗、漏水,导致产生安全事故或使结构丧失使用功能,也可能会因地裂缝两侧结构的位错而使其空间不能满足使用的要求。因此,地裂缝地带的结构破坏形式远比起于一般的地基变形而引起的结构破坏复杂,所涉及的内容也更多,是一个多学科交叉的问题。

近年来,中国相继颁布实施的有关地下工程设计和施工规程及规范都对其形变及应力监测工作

做了具体规定,安全监测已成为城市地下工程施工过程中必不可少的内容,监测技术和方法也在不断完善。目前的监测工作主要是针对地下工程施工过程的监测,对于地下工程运营后的安全监测相对较少,对地裂缝活动环境下的地下工程安全监测尚属空白。由于地裂缝的发生、发展具有一定的不可预见性,若仅按照地下工程使用寿命期内预测的最大地裂缝位错值进行防灾设计,将会使工程造价大幅度提高。如果对跨地裂缝带结构的重点部位进行重点监测,当其形变和应力达到容许的临界值时,及时采取加固措施,将会收到事半功倍的效果,这种情况下的监测同样具有重要的意义,但其难度更大,需要对地裂缝活动时地下结构的形变及应力变化规律有深入的了解,才能制定出切合实际的监测方案和确定较准确的预警判据,为重要结构物的安全监测方案选择提供可靠的理论依据和方法。

#### 2.6 地裂缝地带结构的维护理论

尽管目前修建在地裂缝带上的建筑物很有限,但随着西安地铁的建设、城市给排水管道的扩容以及天然气管线的增加,受地裂缝灾害威胁的工程将有增无减。虽然政府有关部门对西安城区的地下水开采已进行了严格限制,西安地裂缝近年来的活动趋势总体减弱,但在局部地段仍有活动迹象。随着市政建设的发展、城市的不断扩容以及由于气候变化引起的地下水位变化等因素的影响,未来是否还会出现地裂缝的再度大面积复活,都是值得探讨的问题。与此相适应的就是位于地裂缝地带结构的维护理论的研究,包括结构的可维护性、维护机制、维护方式以及维护后结构的可靠性和续存寿命的变化规律及评估方法等,对这些问题的深入探讨,将会为跨地裂缝带结构的长期维护和管理打下良好的基础。

### 3 西安地裂缝研究的建议

自20世纪70年代中后期对西安地裂缝有组织地调查研究以来,人们对西安地裂缝的探究已有30多年的历史,工程勘察也取得了丰硕成果,为西安地裂缝的深入研究打下了良好基础。随着城市建设的发展和工程规模的扩大,将对地裂缝的研究提出更高要求,在研究内容上,必须结合西安城市建设的重大需求;在研究方法上,应将多种手段相结合。由于地裂缝的成因及活动机理是非常复杂的,要取得进一步的突破,仅靠对工程勘察结果的

认识和工程地质分析还不足以解决地裂缝研究中的诸多难题。加强地裂缝的物理模型试验研究,通过物理模拟,验证已有的地裂缝研究学说和分析模型,补充理论研究的不足,是今后地裂缝研究中应予充分重视的重要课题。近年来,长安大学彭建兵教授领导的课题组在这方面已进行了卓有成效的工作,并取得了一些重要成果<sup>[21-22]</sup>。但要真正对以上几个科学问题进行明确回答,还有大量的研究工作需要去做。

工程建设促进了地裂缝研究的发展,也促进了两者之间的紧密结合,地裂缝的研究已成为多学科关注的问题。要使西安地裂缝研究从定性逐步转化为定量,必须联合工程地质、岩土力学、结构工程等方面的力量,共同攻克这一难题。

4 结语

经过 30 多年的努力,西安地裂缝研究已取得了丰硕成果,为西安城市建设防灾减灾起到了重要的指导作用。随着西安地铁等重大工程的建设,对这一问题的研究进入了新的历史阶段。笔者提出西安地裂缝研究中的几个重要科学问题,是西安地裂缝研究中不可回避和亟待解决的问题,它对于进一步提高西安地裂缝的研究水平,促进地裂缝研究与工程实际相结合,有着重要的意义。要对这些问题进行更深入的探讨,必须将工程勘察、理论分析、模型试验等多种方法相结合,通过多种科学手段的综合应用,解决西安地裂缝研究中的一些疑难问题,促进地裂缝研究的重大创新和突破。

参考文献:

[ 1 ] Jachens R C, Holzer T L. Differential Compaction Mechanism for Earth Fissures Near Casa Grande, Arizona[ J ]. Geological Soc America Bulletin, 1982, 93: 998-1012.

[ 2 ] Lofgren B E. Earth Cracks Caused by Horizontal Stresses [ J ]. EOS, 1984, 65: 882-883.

[ 3 ] Rojas E, Arzate J, Arroyo M. A Method to Predict the Group Fissuring and Faulting Caused by Regional Groundwater Decline[ J ]. Engineering Geology, 2002, 65: 245-260.

[ 4 ] Willams F M, Willams M A J, Aumento F. Tensional Fissures and Crustal Extension Rates in the Northern Part of the Main Ethiopian Rift[ J ]. Journal of African Earth Sciences, 2004, 38: 183-197.

[ 5 ] 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.

[ 6 ] 李永善. 西安地裂缝[ M ]. 北京: 地震出版社, 1986.

[ 7 ] 张家明. 西安地裂缝研究[ M ]. 西安: 西北大学出版社, 1990.

[ 8 ] 李永善. 西安地裂及渭河盆地活断层研究[ M ]. 北京: 地震出版社, 1992.

[ 9 ] 彭建兵. 渭河盆地活动断裂与地质灾害[ M ]. 西安: 西北大学出版社, 1992.

[ 10 ] 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.

[ 11 ] 陈志新, 袁志辉, 彭建兵, 等. 渭河盆地地裂缝发育基本特征[ J ]. 工程地质学报, 2007, 15(4): 441-447.

[ 12 ] 李新生, 王静, 王万平, 等. 西安地铁二号线地裂缝特征、危害及对策[ J ]. 工程地质学报, 2007, 15(4): 463-468.

[ 13 ] 卞菊梅, 冯希杰, 张芝霞. 西安地裂缝灾害现状与防治[ J ]. 陕西环境, 1999, 6(2): 6-8.

[ 14 ] 易学发, 苏刚, 王卫东. 用数值模拟研究西安地裂缝[ J ]. 水文地质工程地质, 1999, 26(5): 33-36.

[ 15 ] 李忠生. 论西安次级地裂缝[ J ]. 自然灾害学报, 2005, 14(3): 119-123.

[ 16 ] 马广超. 西安地裂缝对地下排水管道的破坏与防治[ J ]. 灾害学, 2005, 20(3): 108-110.

[ 17 ] 马润勇, 彭建兵, 袁志东, 等. 青藏高原隆升的黄土高原构造侵蚀效应[ J ]. 地球科学与环境学报, 2007, 29(3): 287-293.

[ 18 ] 赵慧, 钱会, 李渊, 等. 抽水 and 建筑荷载双重作用下的地面沉降模型[ J ]. 地球科学与环境学报, 2008, 30(1): 57-60.

[ 19 ] 黄义, 门玉明. 结构-地基相互作用系统可靠性分析[ M ]. 西安: 陕西科学技术出版社, 2000.

[ 20 ] 门玉明, 黄义. 土-结构动力相互作用的研究现状与展望[ J ]. 力学与实践, 2000, 22(4): 1-7.

[ 21 ] 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.

[ 22 ] 陈立伟. 地裂缝扩展机理研究[ D ]. 西安: 长安大学, 2007.