

# 地裂缝场地城市地下综合管廊防治措施研究

王茂 李伦\* 石虎珍

中冶京诚工程技术有限公司, 中国·北京 100176

**摘要:** 西安市域内发育的地裂缝多达 14 条<sup>[1]</sup>, 通过对西安地裂缝的活动特点及现有研究成果的总结, 结合工程实践, 研究纺四路及铁路规划路沿线地裂缝的活动特征, 分析地裂缝活动对两条综合管廊的影响并提出针对性防治措施, 研究结论可为地裂缝场地条件下综合管廊设计提供解决思路和方法。

**关键词:** 综合管廊; 地裂缝; 防治措施

## Research on Prevention and Control Measures for Urban Underground Comprehensive Pipe Gallery in Ground Crack Sites

Mao Wang Lun Li\* Huzhen Shi

MCC Jingcheng Engineering Technology Co., Ltd., Beijing, 100176, China

**Abstract:** There are as many as 14 ground fissures in Xi'an<sup>[1]</sup>, Based on the summary of the active characteristics of ground fractures in Xi'an and the existing research results, combined with the engineering practice, the active characteristics of ground fracture along the Fangsi Road and the Railway Planning Road are studied, the impact of ground fracture activity on the two utility tunnels is analyzed and the targeted prevention measures are proposed, the research conclusions can provide solutions and methods for the design of utility tunnel under the ground fracture site conditions.

**Keywords:** utility tunnel; ground fracture; prevention measures

### 1 引言

在国家政策引导和地方财政大力支持下, 城市地下综合管廊的建设在全国范围内如火如荼, 古城西安作为西北五省的门户及省会城市, 自然名列其中。目前, 西安正在建设中国规模最大地下综合管廊。全市规划建设 140 余公里干、支线地下综合管廊, 365 公里地下缆线管廊; 总投资规模为 175 亿元, 成为目前中国投资额和建设规模最大的城市地下综合管廊 PPP 项目。

综合管廊在一定意义上类似于地铁但又有所不同, 地铁内铺设铁轨, 以供地铁安全输送乘客, 是城市发展和地方经济发展的标志; 地下综合管廊将城市各类市政管线纳入其中, 能够解决城市快速发展带来的一系列问题: 如马路拉链、市容市貌等, 也被称为城市正常运行的生命线。然而, 西安市地裂缝分布广泛, 无论是地铁还是地下综合管廊, 建设过程中可能都会遭遇地裂缝。大量工程实践证明, 地裂缝活动危害巨大, 历史以来所直接造成或间接造成的工程破坏、人员伤亡和经济损失是十分惨重的。目前, 针对地铁穿越地裂缝已开展了大量的研究, 许多学者通过数值模拟、理论分析、模型试验对穿越地裂缝地铁隧道的受力变形规律、防治措施等进行了分析, 但对地下综合管廊在地裂缝场地的工程实践研究较少, 地裂缝活动严重威胁着城市地下综合管廊建设及后期的安全运营。

#### 1.1 西安地裂缝的成因及分布

地裂缝具有区域性、人为性及隐蔽性等特点, 是地表岩、

土体在自然或人类活动作用下产生开裂, 并在地面形成一定长度和宽度裂缝的地质现象。关于西安地裂缝的成因, 目前有以下三种学说: ①地下水过度开采, 地面沉降引起地裂缝; ②汾渭盆地构造活动; ③综合以上两种学说<sup>[2]</sup>。根据 DBJ 61/T 182—2021《西安地裂缝场地勘察与工程设计规程》, 西安地裂缝是由于地下承压水的过量开采, 地面产生不均匀沉降引起临潼—长安断裂带西北侧(上盘)活动而形成的。

西安地裂缝分布南起临潼—长安断裂带北侧, 北至辛家庙(北二环路), 东至浐河以东纺织城北端, 西至丈八沟以西里花水村附近。南北向最远延伸 14km, 东西向最远延伸 20km; 其总分布面积约 250km<sup>2</sup>, 总延伸长度超过 100km<sup>[3]</sup>。在此范围内已发现的西安地裂缝共 14 条, 自北向南编号为 f<sub>1</sub>~f<sub>14</sub>, 地裂缝的总体走向为 NEE, 与临潼—长安断裂有小角度的夹角(约 10°~20°), 各条地裂缝以 0.6~1.5km 的间距近似平行展布(如图 1 所示)。

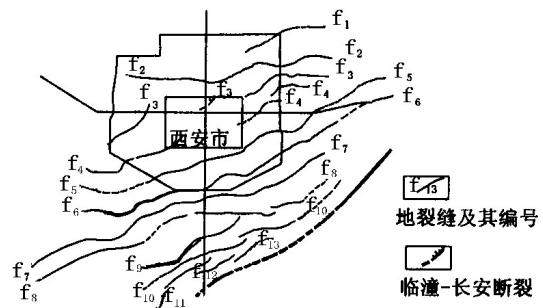


图 1 西安地裂缝分布示意图

### 1.2 西安地裂缝的活动特征

西安地裂缝的活动最早开始时间可追溯到 20 世纪 60 年代, 其活动造成已建城市道路、桥梁、地下管道等各类建筑物发生不同程度的损坏, 也对后续城市基础设施的建造带来许多新的问题, 对西安地裂缝的活动特征总结如下<sup>[4,5]</sup>:

- ①时间上具有周期性, 在同一活动周期内, 又具有时强时弱的活动特征; 已有资料表明其活动与过量开采承压水有关。
- ②具有不连续性, 同一条地裂缝在地面的表现, 在一定的时期内是不连续的, 有的地段活动强烈, 地面破坏形迹明显, 而有的地段活动微弱, 在地面未发现明显的破坏形迹, 目前被认为是隐伏段, 但这些隐伏段在将来某一个时期, 有继承性发育地裂缝的可能。
- ③具有多点双向破裂的特征, 每条地裂缝在其形成过程中, 首先是在其若干部位(多在中部)开始破裂, 然后再向两端延伸, 相互贯通。
- ④活动分三个方向, 即垂直错动、水平拉张和扭动, 主要表现为南侧(上盘)下降的垂直运动。
- ⑤具有蠕动的特点, 即地裂缝的活动方式是蠕动。

## 2 工程背景

### 2.1 纺四路段地下综合管廊概况

纺四路段地下综合管廊建设于西安市灞桥区纺四路, 分为两段: 沿纺四路及韩森东路综合管廊为矩形三舱现浇混凝土结构, 包括讯电舱、水热舱及天然气舱, 侧壁厚度 400mm, 顶、底板厚度 500mm, 廊底深度约为 8.8m; 沿铁路规划路综合管廊为四舱现浇混凝土结构, 包括天然气、蒸汽、水热、讯电舱; 侧壁、顶、底板厚度 400mm, 深度约为 7.3m (如图 2 所示)。根据《西安市地下综合管廊建设 PPP 项目 II 标段韩森东路及铁路规划路地裂缝专项勘察报告》, 纺四路段地下综合管廊建设场地分布有 f7 地裂缝, 与两条管廊位置关系见图 3。

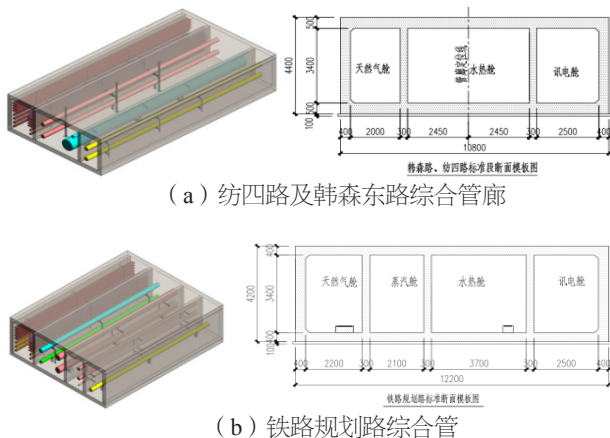


图 2 地下综合管廊示意图及横断面图

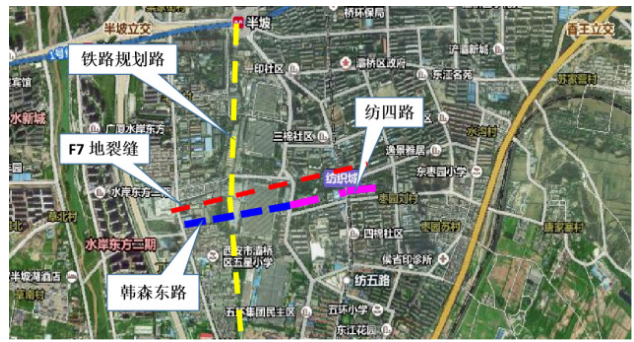


图 3 综合管廊与 f7 地裂缝相交示意图

### 2.2 f7 地裂缝概况

西安 f7 地裂缝可分为四段: 第一段: 西起丁白村, 经西安探矿机械厂、省社会科学院, 至省委党校。长约 1500m, 走向 N60° E, 东端近 EW 向; 第二段: 西起于午路菜场, 经小寨西路 3 号院、小寨商场(现开米广场)、西安地质学院(现长安大学雁塔校区), 至省委机关大院, 长度约 2500m, 走向 N70° -75° E; 第三段: 西起省委家属院经观音庙村, 至西安地质技工学校, 全长近 2000m, 走向近东西转 N70° E; 第四段: 自王家庄经铁路庙村、新安机械厂, 陕西钢厂, 国棉四厂, 至东枣园村全长约 4600m, 走向 N70° E 转 N65° E。

西安 f7 地裂缝在纺四路段大体走向为北东, 倾向南东, 倾角约 80°, 为北盘(下盘)相对上升, 南盘(上盘)相对下降的正断层性质(如图 4 所示)。

考虑到地下综合管廊是城市的百年生命线工程, 在这期间管廊必将遭受 f7 地裂缝活动的危害, f7 地裂缝的活动严重威胁着西安纺四路段地下综合管廊的建设与安全运营, 因此管廊的建设过程中必须采取相应的防治措施。

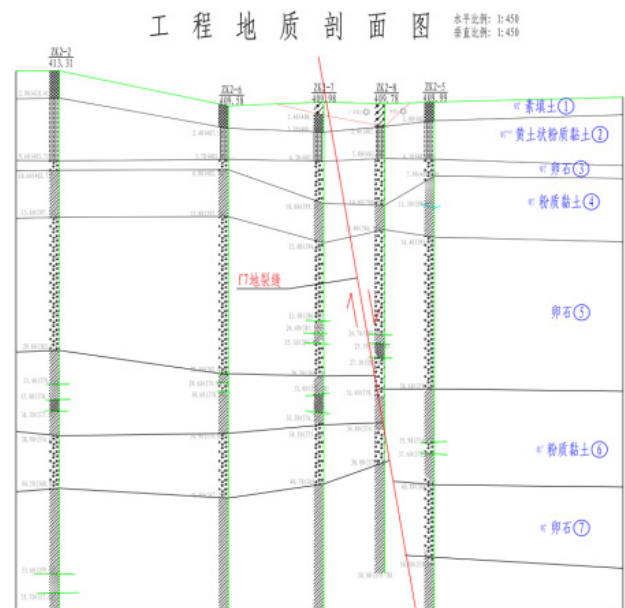


图 4 f7 地裂缝剖面图

### 3 地裂缝活动对地下综合管廊的影响

西安地裂缝活动具有空间三维性,即垂直错动、水平张裂及水平扭动<sup>[6]</sup>, (如图 5 所示),其活动过程类似于正断层活动,即上盘相对下降,下盘相对上升,上下盘相对错动,地面产生不均匀沉降,在岩土层内部及地面产生裂缝,从而造成建设在地下及地面上的建(构)筑物的损坏。地下综合管廊为线性工程,在地裂缝场地不可避免的会与地裂缝相交,地裂缝活动时,地裂缝上盘地层下沉,位于上盘部分的管廊底板脱空,因其具有一定的埋深,因此在上覆地层土体的重量及周围土体的摩擦力作用下管廊结构会产生开裂破坏,影响结构强度及管廊的防水性能,其内部敷设的通讯电缆、高压电线及各类管道会因管廊结构的破坏而受损或遭遇地下水,从而影响管廊的正常使用。地裂缝场地综合管廊建设过程中若不采取相应的防治措施,将会出现以下危害。

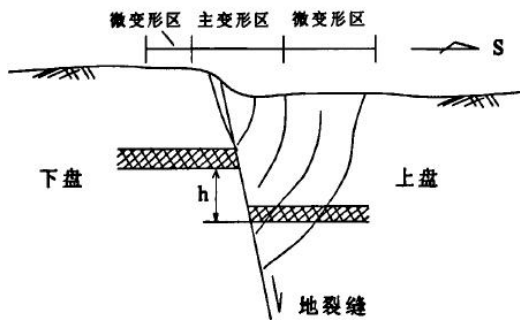


图 5 西安地裂缝垂直差异运动剖面示意图

#### 3.1 管廊顶底板结构变形破坏

根据相关研究<sup>[7,8]</sup>,管廊在地裂缝活动时竖向变形呈反“S”形状,可将管廊分为下盘区翘曲隆起、地裂缝活动影响区不均匀沉降、上盘区稳定下沉三部分,位于下盘的管廊顶板处于受拉底板受压,位于上盘的管廊,顶板处于受压状态底板处于受拉状态。地裂缝活动时,其影响区内管廊产生不均匀沉降,结构更容易发生变形破坏,当地裂缝上下盘错动较小时,管廊长期承受上覆土层重量和其两侧土体向下的摩擦阻力,当地裂缝错动超过 20cm 时<sup>[9]</sup>,位于地裂缝上盘的管廊底板出现脱空,管廊顶底板将受地层变形产生附加应力。当应力超出了管廊结构的抗拉和抗压强度后,管廊顶底板将出现开裂,随地裂缝错动的进一步加大,管廊结构破坏。

#### 3.2 防水失效

地下综合管廊建设于地下一定埋深处,一般延伸较长,施工时不可能一次性浇筑完成,其整体结构存在施工缝,同时为适应地层的沉降设置有变形缝,一般场地常规的防水措施可隔离地下水,保证管廊正常使用的环境。相较于一般场地,地裂缝场地原生地层破坏,地下水连通性好,是较好的渗流通道,地表水会沿地裂缝带下渗,同时,地下综合管廊结构因地裂缝两侧上、下盘错动容易造成施工缝变形缝过大,出现管廊顶底板结构混凝土开裂破损、止水带拉裂现象,

这必然导致结构漏水。

#### 3.3 廊内管线破坏

管廊在地裂缝错动作用下结构产生开裂、漏水时,敷设在管廊内的各类管线也将受到严重的影响:柔性管道过量变形影响管道正常使用,刚性管道破裂导致其内介质泄露会造成巨大安全隐患,地下水渗入引起管道的腐蚀风险,电力电缆漏电等等,这些都对地下综合管廊的安全运行存在威胁,严重时会导致地下综合管廊的功能丧失,造成巨大的安全风险及经济损失。

### 4 地裂缝场地地下综合管廊工程防治措施

纺四路段地下综合管廊在 f7 地裂缝影响区域内建设过程中采取的防治措施主要有:①纺四路及韩森东路管廊:此段管廊近似平行于 f7 地裂缝,主要是加强结构纵向分布筋,使纵向全断面配筋不小于 0.6%,增强结构自身抗裂能力;并在距避让区域较近的区域,缩短结构变形缝的设置间距(20m),增强结构抗变形能力。②铁路规划路综合管廊:此段管廊大角度穿越 f7 地裂缝,因此在设计过程中进一步减小变形缝的设置间距(12m),采用“且”型及可拆卸止水带的特殊变形缝,确保结构变形后的防水性能;同时在地裂缝变形区,扩大了结构断面,预留净空,加强结构配筋。

然而,在实际工程中,所面对的问题不尽相同,针对地裂缝活动对地下综合管廊的影响,结合西安 f7 地裂缝场地纺四路段地下综合管廊的建设经验及已有地铁隧道建设过程中的防治措施<sup>[10]</sup>,管廊建设遇地裂缝时可以“防”与“放”结合为原则进行相应处理<sup>[11]</sup>,即“分段设缝、局部加强、先结构后防水”,以结构适应地裂缝变形为主。“防”就是局部结构刚度加强,而“放”就是分段设缝加柔性接头,穿越地裂缝地段管廊采用分段结构进行设计,采用柔性接头进行处理。

#### 4.1 设防范围的确定

地裂缝场地地下综合管廊的防治首先应确定设防范围,根据 DBJ 61/T 182—2021《西安地裂缝场地勘察与工程设计规程》,地裂缝影响区范围为:上盘 0~20m,其中主变形区 0~6m,微变形区 6~20m;下盘 0~12m,其中主变形区 0~4m,微变形区 4~12m。管廊的设防范围受其与地裂缝相交角度的影响<sup>[9]</sup>,可分为两种情况:

①当管廊正交穿越地裂缝时,其设防长度是地裂缝的影响区域的宽度。

②当管廊以一定角度穿越地裂缝时,其设防长度与穿越角度有关。由图 6 可推出设防长度:

$$D = D_1 + D_2 = \frac{L_1}{\sin\theta} + \frac{L_2}{\sin\theta} = \frac{L_1 + L_2}{\sin\theta} = \frac{L}{\sin\theta}$$

式中:

D 为地下综合管廊的设防长度;

D<sub>1</sub> 为地裂缝场地下盘设防长度, D<sub>2</sub> 为地裂缝场上盘设防长度;

$L_1$  为下盘影响区宽度;  $L_2$  为上盘影响区宽度;  
 $\theta$  为地下综合管廊穿越地裂缝的角度。

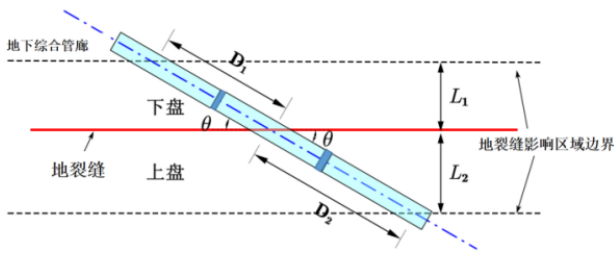


图 6 地下综合管廊与地裂缝相交示意

### 4.2 结构措施

地裂缝活动会使管廊顶板、底板受到拉应力或压应力作用,因此最直接的措施便是提高设防范围内管廊结构的刚度与强度,增大主体结构配筋率及结构断面尺寸;同时,借鉴西安地铁隧道穿越地裂缝所采取的方法<sup>[12]</sup>,即分段设置特殊变形缝并预加柔性接头,将其应用于管廊穿越地裂缝的防治,可将地下综合管廊的变形缝设置为两种:对缝设置和骑缝设置(如图7、图8所示),在地裂缝影响区扩大管廊断面预留净空,并在变形缝之间设置柔性接头以消除管廊结构因地裂缝错动而在结构内部产生的弯矩和剪应力,从而适应地裂缝错动引起的地层不均匀沉降(如图9所示)。

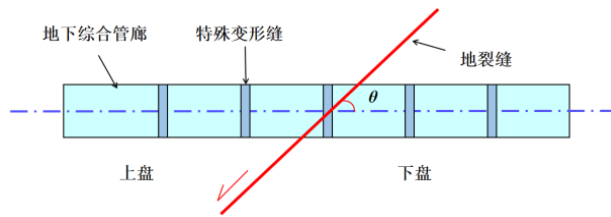


图 7 对缝设置示意

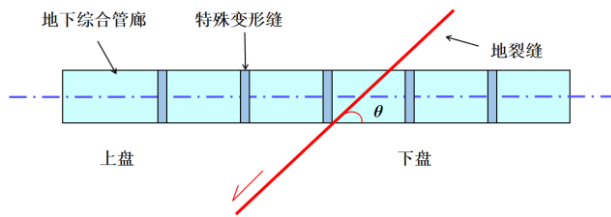


图 8 骑缝设置示意

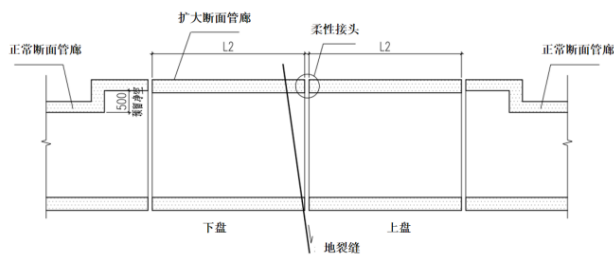


图 9 地裂缝影响区地下综合管廊扩大断面示意图

### 4.3 防水措施

首先,应加强管廊顶板及底板纵向分布钢筋的布置以减少结构裂缝的产生,同时采用添加膨胀剂的补偿性收缩防水混凝土以提高混凝土的抗渗等级;对于设置特殊变形缝处可通过在结构外侧设且型止水带、内侧设U型止水带,并预埋注浆管的方式,保证管廊结构的防水效果(如图10所示)。

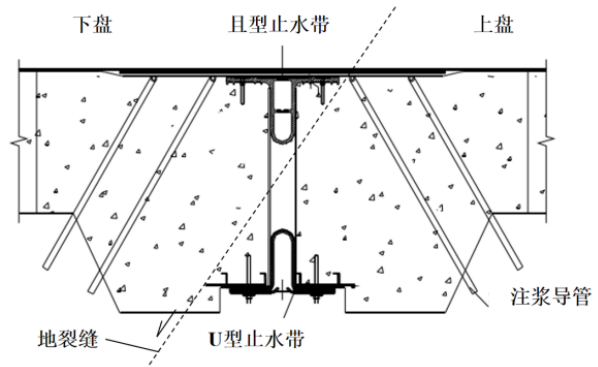


图 10 特殊变形缝防水构造图

### 4.4 其他辅助措施

①对于敷设在管廊内部各类管线,应以柔性结构连接,以防管道断裂。

②修建管廊前应对地裂缝影响区地层土体进行加固处理,强化地基的整体刚度;在变形缝处结构内预留注浆导管,当地裂缝错动引起变形缝两侧管廊错位产生沉降空隙时,通过注浆导管注浆减弱管廊底板脱空带来的不利影响,缓解结构的进一步变形发展。

## 5 结语

地下综合管廊作为城市运行的生命线,在遭遇地裂缝危害时面临巨大的安全风险,采取必要防治措施是保证管廊后期安全运营的前提条件,故应重视地裂缝活动对管廊建设的影响。论文总结了地裂缝活动对地下综合管廊产生不利影响,针对纺四路段综合管廊与f7地裂缝相对位置关系,设计上采取了必要的防治措施,为后续地裂缝场地条件下综合管廊的设计提供了参考经验。

### 参考文献:

- [1] 张家明.西安地裂缝研究[M].西安:西北大学出版社,1990.
- [2] 彭建兵,张勤,黄强兵,等.西安地裂缝灾害[M].北京:科学出版社,2012.
- [3] 黄强兵.地裂缝对地铁隧道的影响机制及病害控制研究[D].西安:长安大学,2008.
- [4] 陈红旗.西安地裂缝地震动力效应研究[D].西安:长安大学,2002.
- [5] 沈红艳,付善春,李世成,等.西安地裂缝成因机理及灾害防治措施分析[J].安阳工学院学报,2018,17(4):5.
- [6] 黄强兵,彭建兵,樊红卫,等.西安地裂缝对地铁隧道的危害及防治

- 措施研究[J].岩土工程学报,2009(5):8.
- [7] 闫钰丰,黄强兵,杨学军,等.地下综合管廊穿越地裂缝变形与受力特征研究[J].工程地质学报,2018,26(5):8.
- [8] 徐强,白超宇,李文阳,等.地下综合管廊穿越活动地裂缝变形与内力的响应分析[J].工程地质学报,2021,38(2):9.
- [9] 苏甜.综合管廊跨越地裂缝的施工措施研究[D].西安:西安工业大学,2020.
- [10] 来弘鹏,姚毅,高强,等.地铁穿西安地裂缝研究进展及先盾后扩法的应用展望[J/OL].现代隧道技术:1-12[2023-02-27].
- [11] 王平,赖佑良.昆明路综合管廊穿越地裂缝场地技术措施研究[J].工程建设与设计,2018(15):4.
- [12] 彭建兵,范文,黄强兵,等.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研究[D].西安:西安长安大学,2006.

作者简介:王茂(1982-),男,中国河北保定人,硕士,高级工程师,从事综合管廊、地下空间等领域的工程设计研究。

通讯作者:李伦(1996-),男,中国陕西安康人,硕士,工程师,从事岩土工程、地下空间等领域工程设计研究。