

## 西安地铁 6 号线某隧道穿越地裂缝带设防措施研究

胡自全<sup>1</sup> 沙 鸣<sup>1</sup> 胡银林<sup>2</sup> 姚长春<sup>3</sup> 芮 江<sup>1</sup>(1. 西安市轨道交通集团有限公司, 710018, 西安; 2. 绍兴市轨道交通集团有限公司, 312099, 绍兴;  
3. 中铁二院工程集团有限责任公司, 610031, 成都)

**摘 要** [目的] 西安地铁 6 号线二期工程某隧道沿线分布有 7 条地裂缝, 工程性质较差, 施工时可能会造成隧道局部坍塌, 以及基底不均匀沉降, 从而加剧地裂缝活动, 严重威胁城市轨道交通的建设和运营。因此, 有必要对 6 号线某隧道穿越地裂缝带进行设防研究。[方法] 基于对与西安地铁 6 号线二期工程相交的各条地裂缝历史活动特性分析, 对各条地裂缝对地铁影响程度分级进行定性评价。综合该分级定性评价结果, 隧道与地裂缝的空间相对关系, 以及地裂缝在百年使用期内最大垂直位移量设计建议值, 对地裂缝垂直、水平及轴向位移量, 以及隧道结构纵向设防长度进行了估算。依据二类地裂缝场地的工程防治原则, 针对隧道穿越地裂缝带提出相应设防措施。[结果及结论] 6 号线某隧道穿越地裂缝带的设防措施为: 隧道衬砌结构采取分段设缝, 扩大隧道断面净空及局部衬砌加强, 接缝处采用柔性接头。该设防措施目前已经成功保障了 7 条地铁线路的安全施工与运营。

**关键词** 城市轨道交通; 隧道; 地裂缝; 设防措施

**中图分类号** U452.2<sup>+</sup>8

**DOI:**10.16037/j.1007-869x.2024.08.041

## Protective Measures for a Tunnel on Xi'an Metro Line 6 Crossing Ground Fissure Zone

HU Ziquan<sup>1</sup>, SHA Ming<sup>1</sup>, HU Yinlin<sup>2</sup>, YAO Changchun<sup>3</sup>, RUI Jiang<sup>1</sup>

(1. Xi'an Rail Transit Group Co., Ltd., 710018, Xi'an, China; 2. Shaoxing Rail Transit Group Co., Ltd., 312099, Shaoxing, China; 3. China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., 610031, Chengdu, China)

**Abstract** [Objective] Xi'an Metro Line 6 Phase II project encounters seven ground fissures along one of its tunnels, the poor engineering properties may cause partial tunnel collapse and uneven settlement at the base, exacerbating ground fissure activities and posing serious threats to the construction and operation of urban rail transit. Therefore, it is essential to study protective measures for this Line 6 tunnel crossing ground fissure zones. [Method] Based on the historical activity characteristics of the ground fissures intersecting Xi'an Metro Line 6 Phase II project, a qualitative evaluation of the impact levels

of each fissure on metro is conducted. Combining this qualitative evaluation results with the spatial relationship between the tunnel and the fissures, as well as the design value of recommended maximum vertical displacement for the fissures during a 100-year service life, estimates are made for the vertical, horizontal and axial displacements of the fissures and the longitudinal protective length of tunnel structure. According to the engineering prevention principles for Class II ground fissure sites, corresponding protective measures are proposed for the tunnel crossing fissure zones. [Result & Conclusion] The protective measures for a Xi'an Metro Line 6 tunnel crossing ground fissure zones include: adopting segmental seams for tunnel lining structure, increasing tunnel cross-sectional clearance, reinforcing local linings, and using flexible joints at the seams. These protective measures successfully ensure the safe construction and operation of seven metro lines.

**Key words** urban rail transit; tunnel; ground fissure; protective measure

西安地铁 6 号线(以下简称“6 号线”)二期工程沿线地裂缝土体裂隙多, 分布湿陷性黄土、饱和软黄土、膨胀性古土壤及易液化土层等不良地质土体<sup>[1]</sup>, 工程性质差, 施工时可能会造成隧道局部坍塌, 基底还可能出现不均匀沉降, 极易加剧地裂缝活动, 威胁城市轨道交通的建设和运营<sup>[2]</sup>。本文以 6 号线二期工程某隧道穿越地裂缝带为依托, 通过对西安地裂缝历史活动特性分析, 结合西安已建城市轨道交通线路地裂缝研究成果, 对该隧道穿越地裂缝带设防措施进行综合研究。

## 1 工程概况

6 号线二期工程是落实西安市城市总体规划、支持城市重点建设、适应城市空间转移的重要线路, 也是地裂缝地质灾害最为严重的线路。西安地裂缝活动具有明显的分段活动性特征, 不同地段其活动性存在差异性, 加之城市轨道交通线路通过不

同角度穿过地裂缝带,对于新建城市轨道交通线路而言不能完全照搬已建线路穿越地裂缝带的设防参数。地裂缝在城市轨道交通设计使用期100年内的最大活动量,每条地裂缝带的抗裂预留位移量,以及隧道在地裂缝带的设防长度等问题均应根据每条线路的走向及其与地裂缝带的相交位置处的地裂缝活动特征进行详细分析和预测。

6号线二期工程沿线分布有f4、f5、f6、f6-北、f7、f8、f8-1共7条地裂缝,与线路交叉11次,均采用隧道设计。根据地裂缝场地勘探标志层的不同<sup>[3]</sup>,对隧道穿越地裂缝带的场地类型进行划分,得到f5、f6、f6-北、f7为二类场地,f4、f8、f8-1为三类场地,不同地裂缝场地类型对隧道的影响也不同。6号线二期工程线路与地裂缝关系见图1。

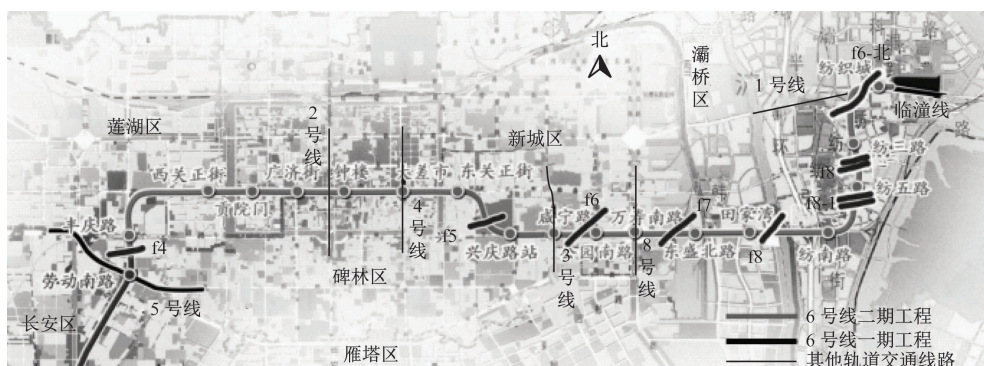


图1 西安地铁6号线二期工程线路与地裂缝关系图

Fig. 1 Relation diagram of Xi'an Metro Line 6 phase II project line and ground fissures

## 2 地裂缝活动性分析及其对城市轨道交通的影响分级

### 2.1 与6号线二期相交的地裂缝历史活动性

地裂缝活动受城市建设影响,以上盘下降、下盘上升的垂向运动为主,其次是水平拉伸,水平扭动变化最小,其强度具有东南强、西北弱的特点<sup>[4]</sup>。20世纪六七十年代,地裂缝开始发育且活动不明显;80年代活动加剧,以f5、f6和f7地裂缝最为剧烈。1990—1996年为地裂缝超常活动期,活动速率为10~40 mm/年。1997年黑河引水工程竣工后,西安市开始逐步禁采地下水,水位逐渐回升,地裂缝的活动大幅减缓。

### 2.2 与6号线二期相交的地裂缝活动特征分析

根据地裂缝活动最新监测数据以及地面破裂特征分析,与6号线二期相交的各条地裂缝现今活动情况如下:

f4地裂缝20世纪80年代中后期活动强烈,活动速率为26 mm/年<sup>[5]</sup>。f4地裂缝西段2005—2007年间的累计活动量仅为1.87 mm,年均活动量为0.62 mm。该地裂缝与6号线相交于劳动南路大唐西市广场东侧,走向约85°,且该段有明显地面变形破裂、地砖开裂及隆起现象,活动性强,活动速率在5.0 mm/年以内。

f5地裂缝与6号线相交于兴庆公园内,此处走向约60°。2011年以前,f5地裂缝在该段活动性较为强烈,之后该段地裂缝活动性有明显降低的趋势,目前活动速率为1.0~5.0 mm/年。

f6地裂缝中段与6号线相交于咸宁路与复聪路口东侧,此处裂缝走向约56°。6号线两侧有断层破坏痕迹,经现场调查发现多处地裂缝灾害点,活动较为强烈,其最东段2005—2008年的累计活动量为12.1 mm,目前活动速率约为5.0 mm/年。f6-北地裂缝在纺北路与新医路路口与6号线两次相交,且在该路口西侧可见围墙及住宅楼墙面开裂,裂缝一直贯通至楼顶;同时通过现场调查发现纺北路路面有填补迹象,f6-北地裂缝在此处走向为45°。在海顺停车场发现地面及墙面开裂,裂缝延伸长约30 m,走向70°,现阶段活动速率为5.0 mm/年。

f7东偏西段与6号线相交于咸宁东路505号附近,走向约59°,该区域未见裂缝出露迹象,该处房屋为避让地裂缝呈阶梯状分布。f7地裂缝在与6号线相交处未见破坏迹象,2007、2008年的活动量分别为3.1 mm、6.59 mm,年均活动量为4.85 mm,由此判断f7地裂缝在该段活动性弱,活动速率为1.0~5.0 mm/年。f7东偏东段与纺五路站—纺三路站区间隧道相交于纺织城正街与纺科路路口,走向约76°,相交处没有明显的地面破坏,为隐伏状

态,活动性较弱,活动速率小于 5.0 mm/年。

f8 地裂缝为局部隐伏地裂缝,其与田家湾站—纺南路站区间隧道相交于咸宁东路恒大绿洲小区南侧,裂缝走向 76°,附近未发现明显的变形迹象。f8 及 f8-1 地裂缝同纺南路站和纺五路站分别相交于纺织城正街与纺八路口北侧和南侧,6 号线附近没有发现明显的变形迹象,由此可判断该段地裂缝总体为隐伏状态,活动性较弱,活动速率约小于 5.0 mm/年。图 2 为 2002—2011 年 6 号线二期沿线主要地裂缝活动速率年变化曲线<sup>[6]</sup>。由图 2 可见:在监测周期 10 年内,f6 地裂缝活动速率小于 10 mm/年,其他地裂缝活动速率小于 5 mm/年,由此可见地裂缝活动具有波动特征。

### 2.3 地裂缝对 6 号线二期的影响程度分级

与 6 号线相交的危险性较大的地裂缝施工段主要是 f4 西段、f6 中段、f6-北,危险性中等的是 f5 东

段,危险性小的是 f7 东偏西段、f7 东偏东段、f8、f8-1。地裂缝对 6 号线二期影响程度分级定性评价,如表 1 所示。

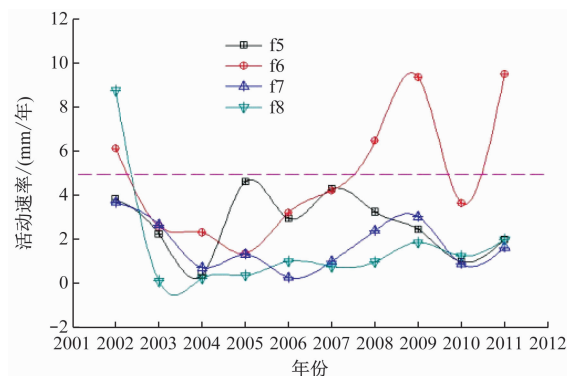


图 2 2002—2011 年 6 号线二期沿线主要地裂缝活动速率年变化曲线

Fig. 2 Annual variation curves of main ground fissure activity rate along Line 6 phase II route in 2002-2011

表 1 地裂缝对 6 号线二期影响程度分级定性评价表

Tab. 1 Classification and qualitative evaluation of ground fissures influence degree on Line 6 phase II

地裂缝	地裂缝通过区间	地裂缝与线路相交位置	地裂缝与线路夹角/(°)	地裂缝活动性及其出露情况	影响等级
f4	西北工业大学站—丰庆路站	劳动南路大唐西市广场东侧	79	活动性强,线路附近地面破裂及变形迹象明显	A
f5	东关正街站—兴庆路站	兴庆公园内	89	活动性较强,地面破裂明显且连续	B
f6	咸宁路站—公园南路站	咸宁路与复聪路口东侧	42	活动性强,线路附近地面破裂及变形迹象明显	A
f6-北	纺三路站—纺织城站	长乐路与新医路口东南市政小区内	43	活动性强,线路附近地面破裂及变形迹象明显	A
	纺三路站—纺织城站	长乐路与新医路口东侧	44	活动性强,线路附近地面破裂及变形迹象明显	A
f7	万寿南路站—东盛北路站	咸宁东路 505 号附近	28	与线路交汇处附近未发现地面破裂及变形现象	C
	纺五路站—纺三路站	纺织城正街与纺科路路口 K46+914	89	与线路交汇处附近未发现地面破裂及变形现象	C
	纺五路站—纺三路站	纺织城正街与纺科路路口 K46+929	87	与线路交汇处附近未发现地面破裂及变形现象	C
f8	田家湾站—纺南路站	咸宁东路恒大绿洲小区南侧	27	与线路交汇处附近未发现地面破裂及变形现象	C
	纺南路站—纺五路站	纺织城正街与纺八路口北侧	69	与线路交汇处附近未发现地面破裂及变形现象	C
f8-1	纺南路站—纺五路站	纺织城正街与纺八路口南侧	56	与线路交汇处附近未发现地面破裂及变形现象	C

注:影响等级 A 为影响大;B 为影响较大;C 为影响相对较小;D 为影响小。

## 3 隧道穿越地裂缝带的设防参数

### 3.1 地裂缝垂直、水平与轴向位移量估算

6 号线隧道与 7 条地裂缝的夹角为 23°~85°。地裂缝活动将会对隧道产生横向错位和轴向拉伸作用,导致隧道结构及其轨道产生变形破坏<sup>[7]</sup>。设该隧道水平位移量  $l_{a'b}$  为:

$$l_{a'b} = l_{oa'} \sin(90^\circ - \theta) = \frac{H}{\tan \beta} \cos \theta \quad (1)$$

式中:

$\beta$ ——地裂缝断层倾角,取 80°;

$H$ ——最大垂直位移量;

$l_{oa'}$ ——最大水平位移量;

$\theta$ ——地裂缝与隧道轴线方向的交角。

隧道的轴向拉伸位移量  $l_{ob}$  为:

$$l_{ob} = l_{oa'} \cos(90^\circ - \theta) = \frac{H}{\tan \beta} \sin \theta \quad (2)$$

通过式(1)和式(2),可算得各地裂缝交汇处隧道结构的最大水平位移量和轴向位移量设计建议值,如表 2 所示。



表2 地裂缝与6号线二期交汇处最大垂直、水平及轴向位移量

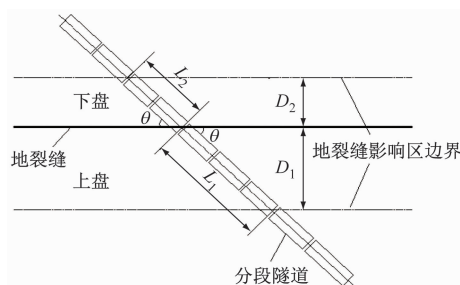
Tab.2 Maximum vertical, horizontal and axial displacement at the intersection of ground fissures and Line 6 phase II

地裂缝	地裂缝通过区间	地裂缝 场地类别	地裂缝与线 路夹角/(°)	最大垂直位 移量/mm	最大垂直位移 预留量/mm	最大水平位 移量/mm	最大轴向拉 伸量/mm
f5	东关正街站—兴庆路站	二类	89	300	500	2	89
f6	咸宁路站—公园南路站	二类	42	400	500	66	59
f6-北	纺三路站—纺织城站	二类	43	400	500	39	36
	纺三路站—纺织城站	二类	44	400	500	38	37
f7	万寿南路站—东盛北路站	二类	28	150	300	47	25
	纺五路站—纺三路站	二类	89	150	300	1	53
	纺五路站—纺三路站	二类	87	150	300	3	53
f4	西北工业大学站—丰庆路站	三类	79	400	500	10	52
f8	田家湾站—纺南路站	三类	27	150	300	47	24
	纺南路站—纺五路站	三类	69	150	300	19	50
f8-1	纺南路站—纺五路站	三类	56	150	300	30	44

注:表中考虑安全系数,最大垂直位移预留量为其最大预测值乘以2.0的安全系数所得,超过500 mm按500 mm取值。

### 3.2 隧道结构纵向设防长度估算

分段设防隧道与地裂缝斜交平面示意如图3所示。



注: $L_1$ 、 $L_2$ 分别为地裂缝上、下盘设防长度; $D_1$ 、 $D_2$ 分别为地裂缝上、下盘影响边界。

图3 分段设防隧道与地裂缝斜交平面示意图

Fig.3 Planar diagram of oblique intersection between segmented preventive tunnel and ground fracture fissure

地裂缝带隧道采用分段设防后,分段隧道沿纵向设防长度 $L$ 将随 $\theta$ 的变化而变化,其表达式为:

$$L = L_1 + L_2 = D_1 / \sin \theta + D_2 / \sin \theta = (D_1 + D_2) \sin \theta = D / \sin \theta \quad (3)$$

式中:

$D$ ——地裂缝影响区宽度。

设计隧道埋深为10.0~20.0 m时,二类地裂缝场地上盘主要影响区范围约为17.5 m,下盘主要影响区范围约为12.5 m<sup>[8]</sup>;三类地裂缝场地上盘主要影响区范围为20.0 m,下盘主要影响区范围为15.0 m<sup>[9]</sup>。设置安全系数为2.0,得到:二类地裂缝场地的影响区范围为60.0 m,即上盘35.0 m,下盘25.0

m;三类地裂缝场地的影响区范围为70.0 m,即上盘40.0 m,下盘30.0 m。将相应数值代入式(3),可得出各地裂缝带纵向设防长度理论计算值和设计建议值,如表3所示。

## 4 隧道穿越地裂缝带的设防措施

### 4.1 工程防治原则

二类地裂缝场地的地裂缝活动较为强烈,地层中典型的标志层上更新统或中更新统红褐色古土壤被错断,地面变形迹象明显甚至出现台阶状错断现象,一般宜采用浅埋暗挖法施工,且跨地裂缝带采用隧道结构分段设计、隧道断面扩大、局部衬砌加强、分段设缝,以及柔性接头等措施。

针对三类地裂缝场地,当地面有一定变形迹象且地层错断埋深较浅(10 m以内)时,可按照二类地裂缝场地设防;对于目前地面无任何变形痕迹且地层错断埋深相对较深(10~15 m以下)的地裂缝场地,可以采用盾构机通过<sup>[10]</sup>。

### 4.2 地裂缝场地的设防措施

#### 4.2.1 隧道衬砌结构分段设缝

为释放隧道设计使用年限内地裂缝活动产生的上、下盘错动,在隧道通过地裂缝设防段每隔10~20 m设置一处特殊变形缝<sup>[10-11]</sup>。隧道和地裂缝夹角 $\geq 45^\circ$ 时,采用分段设缝,变形缝间距取15 m;两者夹角 $< 45^\circ$ 时,设置骑缝或悬臂,变形缝间距取20 m;如地裂缝变形微小时,变形缝间距取15~20 m。

表 3 6 号线二期工程穿过各条地裂缝的纵向设防长度

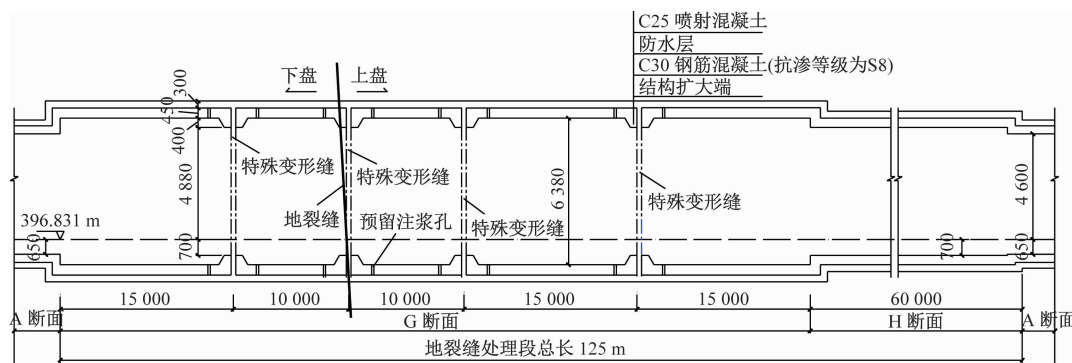
Tab.3 Longitudinal protective length of Line 6 phase II passing through various ground fissures

地裂缝	地裂缝通过区间	地裂缝与线路 夹角/(°)	纵向设防长度理论值/m			纵向设防长度建议值/m		
			上盘	下盘	总长	上盘	下盘	总长
f5	东关正街站—兴庆路站	89	35	25	60	35	30	65
f6	咸宁路站—公园南路站	42	52	37	89	50	35	85
f6-北	纺三路站—纺织城站	43	51	37	88	50	35	85
	纺三路站—纺织城站	44	51	37	88	50	35	85
	万寿南路站—东盛北路站	28	75	53	128	75	55	130
f7	纺五路站—纺三路站	89	35	25	60	35	30	65
	纺五路站—纺三路站	87	35	25	60	35	30	65
f4	起点站—丰庆路站	79	41	31	72	40	40	80
f8	田家湾站—纺南路站	27	88	66	154	80	60	140
	纺南路站—纺五路站	69	43	32	75	40	40	80
f8-1	纺南路站—站一纺五路站	56	48	36	84	40	40	80

#### 4.2.2 扩大隧道断面净空和局部衬砌加强

6 号线二期沿线地裂缝根据其活动程度在百年内最大垂直位移量设计建议值取为 300 mm 和 500 mm<sup>[1]</sup>。设计隧道断面净空时,应根据此建议值扩

大地裂缝设防段的隧道断面净空尺寸,保证百年内地裂缝活动不影响隧道限界要求。此外,可采用双层或复合式衬砌结构,提高接缝处衬砌结构强度。隧道通过地裂缝带结构纵剖面图如图 4 所示。



注:尺寸单位以 mm 计。

图 4 隧道通过地裂缝带结构纵剖面图

Fig.4 Structural longitudinal section diagram of tunnel passing through ground fissure zone

#### 4.2.3 接缝处采用柔性接头

隧道分段设缝设计方案,可以释放结构应力,减小衬砌受力,但会使隧道防水设计的难度加大,因此接缝处必须采取可靠的防水构造。接缝处防水构造大致可采用以下三种方案:

1) 可卸式拼装管片柔性接头设置方案(见图 5)。由于地裂缝活动会导致结构错位进而引起防水失效,因此设计时应重点关注可维修、可更换及易于操作的构造形式。可卸式拼装管片柔性接头具有维修方便经济、操作性强的特点,不同活动级别的地裂缝带均可采用<sup>[1]</sup>。该方案的初期支护为

第一道刚性防水层;通过在二次衬砌内安装中埋式止水带形成第二道防水层,同时在二次衬砌上预留注浆孔,当初期支护与二次衬砌间出现脱空时即可注浆堵漏;内层拼装结构的防水构成第三道防水。地裂缝带分段隧道衬砌之间推荐采取该接头方案。

2) “楔形止水带+中空弹性止水带+Ω形止水带”多道防护柔性接头设置方案(见图 6)。该柔性接头呈下凸形,变形缝采用楔形止水带+中空弹性止水带+Ω形止水带<sup>[1,11]</sup>,并在接缝处预埋可多次注浆的注浆管,接缝两端结构发生错位后,采取衬砌背后填充注浆措施。该方案造价高,工艺复杂,但

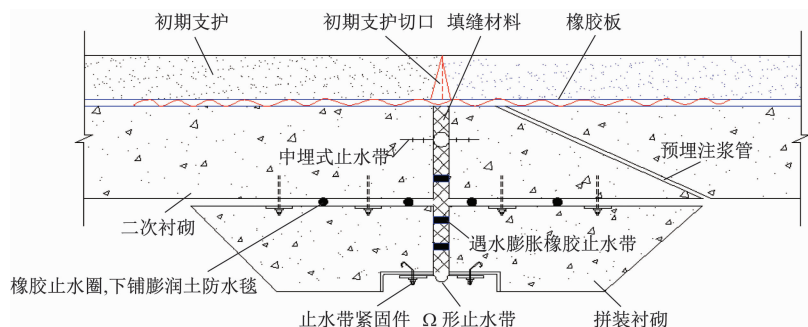
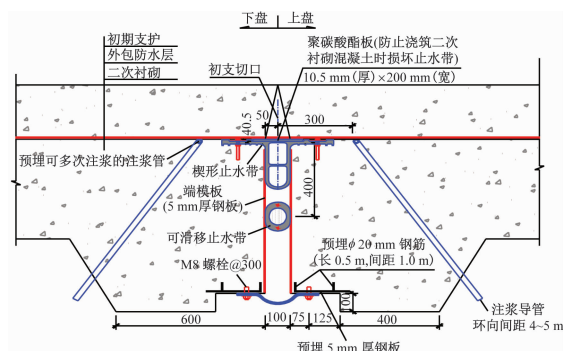
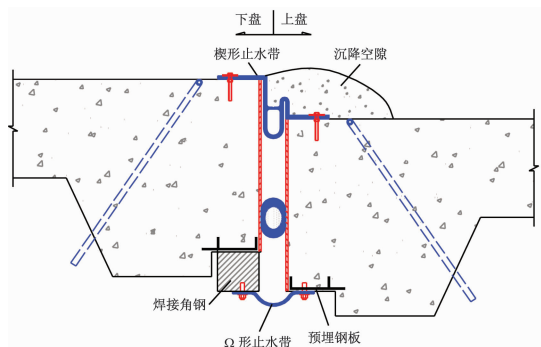


图5 可卸式拼装管片柔性接头

Fig. 5 Flexible joint of detachable assembled segment



a) 接头变形前



b) 接头变形后

单位:mm

图6 “楔形止水带+中空弹性止水带+Ω形止水带”多道防护柔性接头

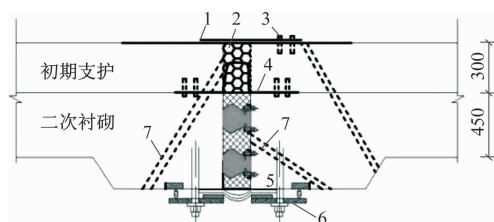
Fig. 6 Multi-channel protective flexible joint of 'wedge-shaped waterstop + hollow elastic waterstop + Ω-shaped waterstop'

因其抗变形量大、防水效果较好而被广泛应用。

3) “橡胶板+U形薄钢板+Ω形止水带”综合防护柔性接头设置方案(见图7)。该方案施工较为经济,便于操作,但抗变形量小,垂直错位量为300 mm的地裂缝设防段可采用<sup>[2]</sup>。

## 5 结语

1) 穿越地裂缝带隧道结构应采用分段设缝、扩



单位:mm

注:1—橡胶板;2—聚苯乙烯硬质塑料泡沫;3—铆钉;4—2~3 mm厚U形薄钢板;5—高密度聚乙烯板;6—Ω形止水带及配套装置;7—预设注浆孔。

图7 “橡胶板+U形薄钢板+Ω形止水带”综合防护柔性接头

Fig. 7 Comprehensive protective flexible joint of 'rubber plate + U-shaped steel plate + Ω shaped waterstop'

大隧道净空及柔性接头防水的处理方案,接缝处应采用双层或复合式衬砌结构。

2) 6号线二期沿线地裂缝根据其活动程度在百年内最大垂直位移量设计建议值取为300 mm和500 mm,应根据地裂缝最大垂直、水平及轴向位移量设计隧道净空。

3) 本文给出的三种隧道特殊变形缝接头防水处理方案,应基于设计使用年限内地裂缝的活动规律及相关监测数据,根据施工难易程度、抗变形量、防水效果、经济性及注浆加固方案综合选取。

4) 经过不断研究、实践,针对西安地铁隧道穿越地裂缝带施工总结出的设防措施,目前已经成功保障了7条地铁线路的安全施工与运营。就总体效果而言,该设防措施是成功有效的。

5) 此外,考虑到西安轨道交通建设中存在大量线路下穿和邻近施工问题,建议设立黄土地区地裂缝地面沉降环境下城市轨道交通隧道下穿和邻近施工对周围建筑物的影响及防治措施的专题研究。

## 参考文献

[1] 彭建兵,黄强兵. 西安地铁六号线穿越地裂缝场地设防研究

- 报告(二期工程)[R].西安:长安大学,2016.
- PENG Jianbing, HUANG Qiangbing. Research report on site fortification of Xi'an Metro Line 6 crossing ground fractures (phase II project) [R]. Xi'an: Chang'an University, 2016.
- [2] 宋扬,马钢.西安城市轨道交通施工关键技术[M].北京:中国铁道出版社,2022.
- SONG Yang, MA Gang. Key technologies of Xi'an urban rail transit construction [M]. Beijing: China Railway Publishing House, 2022.
- [3] 陕西省住房和城乡建设厅,陕西省市场监督管理局.西安地裂缝场地勘察与工程设计规程:DBJ 61/T 182—2021[S].北京:中国建筑工业出版社,2021.
- Shaanxi Province Housing and Urban-Rural Construction Office, Shaanxi Administration for Market Regulation. Specification for site investigation and engineering design on Xi'an ground fractures: DBJ 61/T 182—2021[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2021.
- [4] 陈东山,王鸣晓.西安地铁土建工程设计与施工[M].西安:陕西人民出版社,2017.
- CHEN Dongshan, WANG Mingxiao. Civil engineering design and construction of Xi'an Metro[M]. Xi'an: Shaanxi People's Publishing House, 2017.
- [5] 高虎艳,黄强兵,王德志,等.西安地铁三号线隧道斜交穿越地裂缝带的设防参数研究[J].现代隧道技术,2012,49(6):128.
- GAO Huyan, HUANG Qiangbing, WANG Dezhi, et al. A study of design parameters for the tunnels of the Xi'an Metro Line 3 passing obliquely through active ground fissure zones[J]. Modern Tunnelling Technology, 2012, 49(6): 128.
- [6] 唐文鹏,黄强兵,王德志,等.西安地铁四号线沿线地裂缝活动趋势预测及危险性评价[J].现代隧道技术,2013,50(2):20.
- TANG Wenpeng, HUANG Qiangbing, WANG Dezhi, et al. Trend prediction and risk assessment of ground fissures along the Xi'an Metro Line 4[J]. Modern Tunnelling Technology, 2013, 50(2): 20.
- [7] 黄强兵,彭建兵,高虎艳,等.地铁隧道斜交穿越地裂缝带的纵向设防长度[J].铁道学报,2010,32(1):73.
- HUANG Qiangbing, PENG Jianbing, GAO Huyan, et al. The longitudinal fortified length of metro tunnel obliquely crossing the active ground fissure zones[J]. Journal of the China Railway Society, 2010, 32(1): 73.
- [8] 黄强兵,郭瑞,张宁,等.西安地铁临潼线穿越地裂缝及断裂带隧道抗裂设防研究[J].现代隧道技术,2018,55(6):144.
- HUANG Qiangbing, GUO Rui, ZHANG Ning, et al. Anti-cracking design for a tunnel on the Lintong Line of Xi'an Metro crossing ground fissures and fault zones[J]. Modern Tunnelling Technology, 2018, 55(6): 144.
- [9] 孟振江,彭建兵,黄强兵,等.三类勘察场地地裂缝活动对地铁隧道的影响[J].交通运输工程学报,2017,17(2):41.
- MENG Zhenjiang, PENG Jianbing, HUANG Qiangbing, et al. Influence of ground fissure activity on subway tunnel in third-kind surveying site[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2017, 17(2): 41.
- [10] 孟振江,程国明,黄强兵,等.西安地铁工程涉及的地裂缝灾害与隧道设防[J].筑路机械与施工机械化,2017,34(4):124.
- MENG Zhenjiang, CHENG Guoming, HUANG Qiangbing, et al. Ground fissure disaster and tunnel fortification involved in Xi'an Subway project[J]. Road Machinery & Construction Mechanization, 2017, 34(4): 124.
- [11] 雒继锋,康佐,祁国俊.西安城市轨道交通设计与创新[M].北京:中国铁道出版社,2021.
- LUO Jifeng, KANG Zuo, QI Guojun. Design and innovation of Xi'an urban rail transit[M]. Beijing: China Railway Publishing House, 2021.
- 收稿日期:2022-03-07 修回日期:2022-04-28 出版日期:2024-08-10  
Received:2022-03-07 Revised:2022-04-28 Published:2024-08-10  
· 第一作者:胡自全,高级工程师,287113131@qq.com  
通信作者:沙鸣,高级工程师,38997629@qq.com  
· ©《城市轨道交通研究》杂志社,开放获取 CC BY-NC-ND 协议  
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license

## 2024 年上半年我国内地城市轨道交通线路概况

截至 2024 年 6 月 30 日,我国内地共投运城市轨道交通线路 11 409.79 km,其中,2024 年上半年新增城市轨道交通运营线路 194.06 km。2024 年上半年无新增城市轨道交通运营城市,上半年有城市轨道交通新线、新段或延长线开通运营的城市是 10 个,分别为无锡、长春、南京、绍兴、青岛、合肥、成都、宁波、长沙和苏州。2024 年上半年共新开通运营车站 132 座,新增运营线路 6 条,新开后通段或既有线路的延伸段 4 段。新增的 194.06 km 城市轨道交通运营线路共涉及 3 种系统制式:地铁 146.40 km,占比 75.44%;市域快轨 30.40 km,占比 15.67%;有轨电车 17.26 km,占比 8.89%。

(来源:中国城市轨道交通协会)