

地裂缝活动对跨越裂缝带地铁隧道的影响分析

邓龙胜¹, 范 文^{1, 2, 3}, 闫芙蓉¹, 熊 炜¹

(1. 长安大学地质工程与测绘工程学院, 陕西 西安 710054; 2. 西部地质资源与地质工程教育部重点实验室, 陕西 西安 710054;

3. 国土资源部岩土工程开放研究实验室, 陕西 西安 710054)

摘 要: 根据西安地裂缝的分布特征与活动方式, 结合西安地铁二号线的实际情况, 建立地质模型。通过数值计算, 分析了地裂缝环境下隧道的变形和受力, 并据此来研究穿越地裂缝隧道的设防范围、重点设防位置; 研究了地裂缝环境下围岩压力的分布特征, 为隧道受力模型的简化提供依据。由分析结果可见, 地裂缝环境下隧道变形和受力的主要设防范围为上盘距离地裂缝 40 m 至下盘距离裂缝 30 m 共 70 m 范围; 隧道纵向受力的最危险位置为裂缝两侧 15~20 m 处, 隧道受剪最危险范围为裂缝两侧各 15 m 之内; 在上盘地裂缝影响范围内隧道顶部的竖向围岩压力远远大于底部竖向围岩压力, 此时可以忽略隧道底部土体的竖向作用力, 将结构当作一根以沉降变形区两端为支撑的简支梁构件, 采用极限平衡理论求解作用于隧道顶部的竖向围岩压力, 并据此进行纵向抗弯设计。

关键词: 地裂缝; 地铁隧道; 设防范围; 围岩压力; 极限平衡原理

中图分类号: U216.41

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2010)03-0481-07

作者简介: 邓龙胜(1981-), 男, 云南镇雄人, 博士研究生, 从事黄土动力特性及黄土地震滑坡方面的研究。E-mail: deng32120@yahoo.com.cn。

Effect of activities of ground fissures on crossing metro tunnels

DENG Long-sheng¹, FAN Wen^{1, 2, 3}, YAN Fu-rong¹, XIONG Wei¹

(1. College of Geology Engineering and Geomatics, Chang'an University, Xi'an 710054, China; 2. Key Laboratory of Western China's

Mineral Resources and Geological Engineering, Ministry of Education, Xi'an 710054, China; 3. Open Research Laboratory of

Geotechnical Engineering, Ministry of Land Resources, Xi'an 710054, China)

Abstract: Based on the distribution and movement of ground fissures and the condition of No. 2 metro tunnel in Xi'an, a geological model is established. Through the numerical analysis of finite element model, the protection range of the metro tunnel crossing ground fissures and its most dangerous section are confirmed by analyzing its deformation and stress states, and then, the distribution characteristics of surrounding rock pressure are studied so as to provide a basis for simplification of the model to calculate the stress of the metro tunnel crossing ground fissure. The results show that the main protection range of deformation and stress of the metro tunnel is from the location at the upper wall 40 m to that at the lower wall 30 m away from the fissure, that the most dangerous section is mainly distributed at the place of the ground fissure with a distance of 15~20 m at both sides, and that the structure in the range of 15 m away from the fissure at both sides suffers the maximum shear stress. The vertical pressure above the metro tunnel at the upper wall near the fissure is greater than that at the bottom, and the latter may be ignored. Therefore, the section of the metro tunnel crossing the fissure should be regarded as a beam which is sustained at the two sides of the subsiding area, and the vertical pressure of wall rock used to confirm the flexural torque produced by the activity of ground fissures should be calculated by the theory of stress transfer.

Key words: ground fissure; metro tunnel; protection range; surrounding rock pressure; limit equilibrium theory

0 引 言

西安地裂缝是渭河盆地内最大的地裂缝之一, 根据现有研究成果, 目前共发现的地裂缝有 14 条, 其地表出露总长度超过 100 km^[1]。地裂缝和与其相关的地面沉降已成为西安市区目前最主要的地质灾害, 这些地裂缝对位于其附近的建筑物、道路、管道等设施

造成了严重的破坏, 造成的经济损失达数十亿元^[2-5]。

基金项目: 地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室开放基金项目 (GZ2009-20); 国家交通建设科技项目 (200631800006); 国家自然科学基金项目 (40972181)

收稿日期: 2008-11-17

长期以来,人们对地裂缝的研究主要把精力集中在地裂缝与地震的关系、地裂缝的宏观成因机制、空间分布规律和活动规律等方面,而对地裂缝带结构及构筑物的防灾设计、变形破坏机理和结构处理措施等的研究则相对较少^[6]。师亚芹^[7]探讨了过地裂缝带修建一般建筑的可能性,提出了时间避让和地基处理相结合的处理措施。另外,人们对穿越活断层的管道^[8]、隧道^[9]及巷道工程^[10]等进行了研究,为地裂缝带结构的处理措施积累了经验。

随着西安地铁工程建设的开展,即将建成的地铁2号线穿越了西安14条地裂缝中的11条,拟建的地铁1号线穿越了5条,这些地裂缝有的工程致灾状况十分严重,因此,研究地铁隧道穿越地裂缝问题成了西安地铁建设中的重要问题^[11]。范文^[12],黄强兵^[13-14]等结合西安地铁2号线对隧道穿越地裂缝带进行了物理模型试验,并提出了穿越地裂缝隧道的变形破坏特征和防治措施。邓亚虹等^[15]研究了双层衬砌对地裂缝环境下隧道受力和变形的影响效应。以上这些研究,为地铁隧道穿越地裂缝带的防灾设计提供了依据,也为后续的深入研究奠定了基础。但是,如何确定穿越地裂缝带地铁隧道的设防长度和重点设防位置,以及在设防范围内隧道所受围岩压力大小、作用方式和分布特征等,还有待进一步深入研究。

在一般的隧道设计中,往往把隧道当作平面应变问题考虑,但是,当地铁隧道穿越地裂缝带时,由于地裂缝的活动,将引起裂缝带土体的不均匀沉降,这种不均匀沉降不但改变了隧道结构的变形和受力特性,也改变了围岩压力沿隧道横向和纵向的分布状况,导致地裂缝带的地铁隧道产生弯曲变形,承受较大的附加应力。本文在对西安地裂缝的活动特征和运动方式分析的基础上,建立地裂缝环境下的地铁隧道模型,来研究地裂缝环境下隧道的变形和受力特征,为穿越地裂缝隧道的设防范围、重点设防位置等的确定提供依据。并研究裂缝带围岩压力沿隧道纵向和横向的分布特征,采用极限平衡理论来简化求解地裂缝作用于隧道上的竖向围岩压力,为裂缝带隧道纵断面及横断面设计荷载的确定提供参考。

1 西安地裂缝的成因和活动规律

1.1 地裂缝成因

对于西安地裂缝的成因,先后出现抽水成因^[16-17]、构造成因^[3, 18]和复合成因^[2, 19]的观点。但近年来,越来越多的学者则趋向于西安地裂缝的形成是以断裂构造的发育为基础,过量开采地下水为诱因的成因观点,认为西安地裂缝是土层中的剪切破碎带在近地表处的扩展延伸,但其超常活动却是由于过量抽取地下水,使弱透土层压缩改变土层中的应力状态引起的^[20]。

1.2 地裂缝分布特征及活动方式

西安地裂缝是在西安正断层组的基础上发育起来的,其由南而北在黄土梁和洼地之间呈有规律排列,均位于黄土梁的南侧,主体走向为 $NE70^{\circ} \sim 80^{\circ}$ 。它们一般都由主裂缝及其下降一侧的次级裂缝组成地裂缝带,带宽3~8 m,局部可达20~30 m。各条地裂缝带间距为0.4~2.1 km,平均约1 km。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,主要呈阶梯状、“y”字形、追踪式3种剖面组合形式^[2]。

西安地裂缝主体倾向南,倾角较陡,一般在70度以上,并作正断层式的活动,其上盘总是相对于下盘下滑,地裂缝带基本具有统一的三维空间运动变形特征,即南倾南降的垂直位移、水平引张和水平扭动。其中以垂直位移量为最大,南北拉张量次之,而水平错动量则很小,三者之比为1:0.31:0.03^[5, 11]。由西影路的地裂缝监测结果^[11](图1)可见地裂缝明显的三维运动特征。

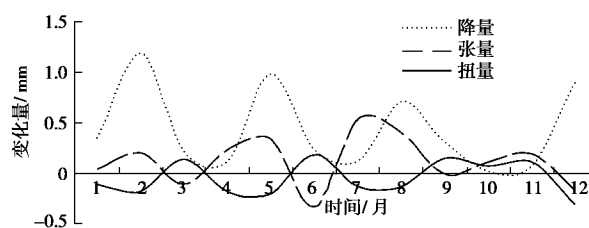


图1 西影路地裂缝三维变形测量变化曲线图

Fig. 1 3D deformation curves of ground fissures at Xiying road

2 计算说明

2.1 模型的建立

采用MSC.Marc软件建立有限元模型,来对跨越裂缝带地铁隧道的影响效应进行研究。由于西安地铁二号线的整体埋深约为10 m,故取计算模型的埋深为10 m,并将隧道衬砌的断面考虑为圆形,衬砌的直径为内径5.4 m,外径6 m,衬砌厚度为30 cm,模型的计算区域取为150 m×40 m×30 m。根据西安地裂缝的基本特征,裂缝倾角按 80° 考虑,且地裂缝与地铁隧道正交,并沿横向贯通整个区域,将模型沿衬砌圆心处分成上盘85 m和下盘65 m的两段,计算模型见图2所示。

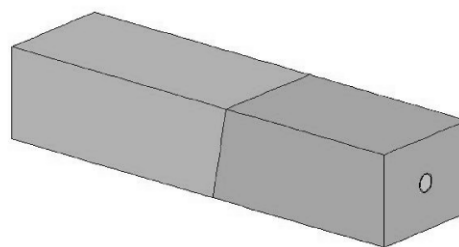


图2 地铁隧道三维有限元模型

Fig. 2 3D finite element model of metro tunnel

2.2 材料特性及边界条件

模型土体考虑为理想弹塑性材料, 采用 D-P 屈服条件和相关联流动准则。对隧道衬砌则进行弹性分析, 模型材料的具体参数选取见表 1 所示。

表 1 材料参数选取

Table 1 Material parameter					
	重度 /(kN · m ⁻³)	弹模 /MPa	泊松 比 ν	黏聚力 /MPa	摩擦角 j /(°)
土体	18.5	16.7	0.34	0.03	20
衬砌	25.0	30000	0.18		

模型的边界条件为约束模型两侧面和两端面的法向位移, 顶面为自由面。根据西安地裂缝的活动特征, 忽略张量和扭量的作用, 并且, 由于西安地裂缝总做正断层式的活动, 因此对于模型底面的边界条件考虑为固定约束下盘底面, 在模型上盘底部则施加竖直向下的位移来模拟地裂缝的活动情况。对于模型分析中所涉及的上盘土体、下盘土体及衬砌之间的关系考虑为接触关系, 由于接触体在接触面上发生错动而产生的力学效应考虑为摩擦关系, 采用库仑摩擦模型。上、下盘之间的摩擦系数 m 取为 0.1, 土体与衬砌之间的摩擦系数则按 0.6 考虑。

3 地裂缝环境下隧道变形和受力特性

根据有限元分析, 研究地裂缝环境下隧道的变形和受力特性, 并据此为过裂缝带隧道设防范围及重点设防位置的确定提供依据。

3.1 隧道变形分析

图 3 给出了地表相对位移为 30 cm 和 50 cm 时, 隧道的变形及位移云图 (裂缝左为上盘, 变形放大 10 倍), 图 4 给出了地表相对位移从 10~50 cm 变化时, 地裂缝环境下隧道的竖向位移曲线。

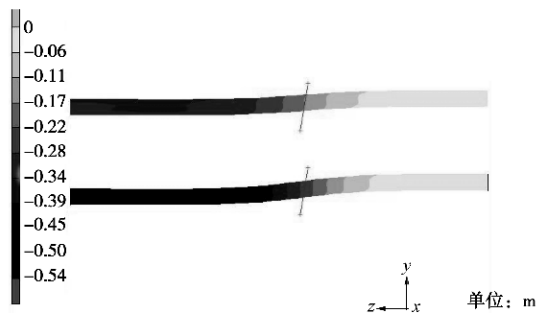


图 3 位移 30 cm(上)和 50 cm(下)隧道竖向变形及位移云图
Fig. 3 Vertical deformation and y-direction displacement of tunnel under displacements of 30 cm (upper) and 50 cm (lower) of ground surface

地裂缝活动使隧道破坏的主要原因, 是裂缝两侧土体的不均匀沉降导致隧道的不均匀变形引起的, 因此, 地裂缝对地铁隧道变形的影响范围, 可以认为是

隧道产生弯曲变形的范围。由图 3、图 4 可见, 当地表相对沉降量小于等于 30 cm 时, 隧道弯曲变形的范围为上盘距离裂缝 30 m 至下盘距离裂缝 20 m 共 50 m 的范围; 当地表沉降较大时, 变形范围随位移的增大略有增大的趋势, 如当沉降量为 50 cm 时, 影响范围为上盘 40 m 至下盘 30 m 共 70 m 的范围, 此范围之外的隧道, 则基本不发生弯曲变形。由于西安地裂缝的活动量较小, 一般约为几毫米/年, 因此, 地裂缝对地铁隧道变形的影响范围可以取上盘 30~40 m, 下盘 20~30 m 的范围。

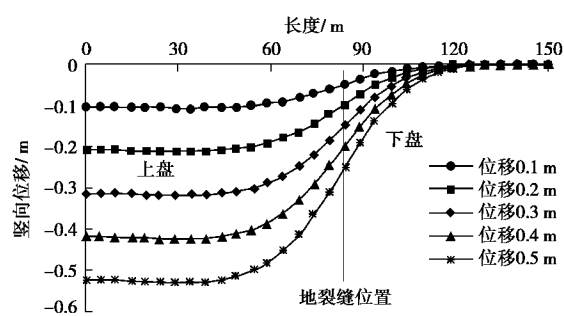


图 4 位移 10~50 cm 时隧道竖向位移曲线
Fig. 4 Distribution of vertical displacements of metro tunnel under displacements of 10~50 cm of ground surface

3.2 隧道受力分析

图 5 给出了地表相对位移 30 cm 和 50 cm 时, 隧道的纵向应力云图 (裂缝左为上盘, 变形放大 10 倍), 图 6、图 7 给出了地表相对位移从 10~50 cm 变化时, 隧道顶部和底部的纵向应力曲线。

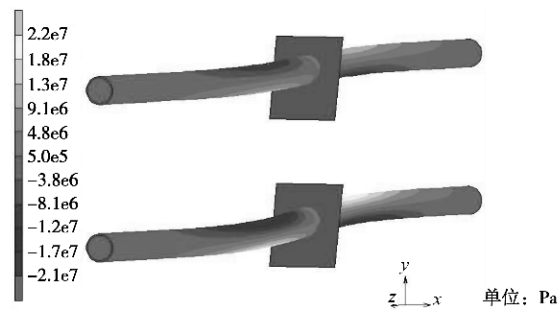


图 5 位移 30 cm(上)和 50 cm(下)隧道纵向应力云图
Fig. 5 Longitudinal stress of tunnel under displacements of 30 cm (upper) and 50 cm (lower) of ground surface

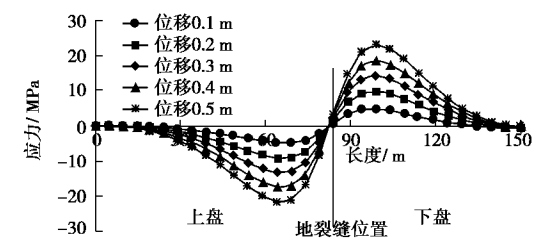


图 6 位移 10~50 cm 时隧道顶部纵向应力曲线
Fig. 6 Distribution of longitudinal stress at the top of metro tunnel under displacements of 10~50 cm of ground surface

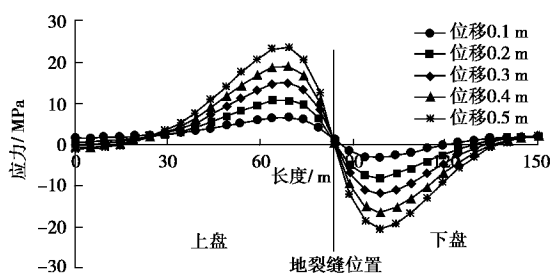


图 7 位移 10~50 cm 时隧道底部纵向应力曲线

Fig. 7 Distribution of longitudinal stress at the bottom of metro tunnel under displacements of 10~50 cm of ground surface

由图可见, 由于地裂缝的活动, 引起隧道在裂缝带两侧的纵向应力剧增, 在纵向上处于拉、压的受力状态, 这种拉、压应力剧增的范围为地裂缝活动时隧道的受力影响范围, 主要分布在裂缝带两侧各 50 m 之内。在受力影响范围之内, 随着地表沉降位移的增大, 隧道所受拉、压应力均在增大, 而影响范围以外的隧道结构所受纵向应力较小, 且受地表位移的影响不大。

在上盘范围内, 隧道是顶部受压, 底部受拉, 最大拉、压应力基本出现在距离地裂缝 15~20 m 的范围之内; 而在下盘范围内, 隧道是顶部受拉, 底部受压, 最大拉、压应力主要出现在距离地裂缝 15 m 处。因此, 对于跨越地裂缝带的地铁隧道来说, 在地裂缝两侧 15~20 m 范围是纵向受力的最危险断面, 应该加强纵向连接或进行重点设防。

当地裂缝活动时, 隧道周围的土体产生向下的位移, 而跨越裂缝带的隧道结构有阻止这种竖向位移的趋势, 这种相对位移将对隧道结构产生剪切作用。图 8 给出了地表相对位移 30 cm 和 50 cm 时, 隧道的剪应力云图 (裂缝左为上盘, 变形放大 10 倍), 图 9 给出了地表相对位移从 10~50 cm 变化时, 隧道侧壁的剪应力曲线。由图可见, 剪应力在地裂缝两侧是呈反对称分布的, 主要受剪区集中分布在地裂缝两侧各 15 m 之内, 最大剪应力则出现在裂缝处, 并且, 随着地表沉降位移的增加, 剪应力的大小在增加, 而剪应力的分布及主要受剪区的范围不变。

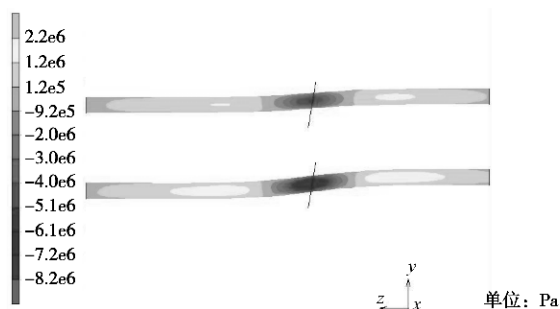


图 8 位移 30 cm(上)和 50 cm(下)时隧道剪应力云图

Fig. 8 Shearing stress of tunnel under displacements of 30 cm (upper) and 50 cm (lower) of ground surface

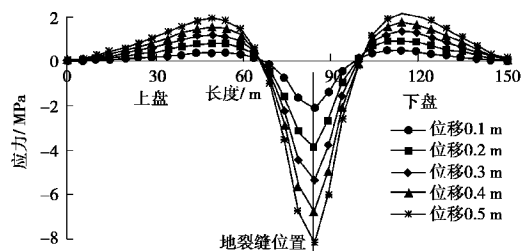


图 9 位移 10~50 cm 时隧道侧壁剪应力曲线

Fig. 9 Distribution of shearing stress at the sides of metro tunnel under displacements of 10~50 cm of ground surface

4 地裂缝环境下隧道围岩压力分布特征

地裂缝的活动, 改变了裂缝带隧道的围岩压力分布规律, 进而改变了隧道的变形和受力特性。图 10 给出了地表位移量为 50 cm 时上盘范围内距离裂缝带 5 m 处土体横断面的竖向围岩压力分布云图。由图可见, 隧道顶部的竖向围岩压力远大于隧道侧面及底部的竖向围岩压力, 这和无地裂缝环境下隧道围岩压力的分布有很大的差异。

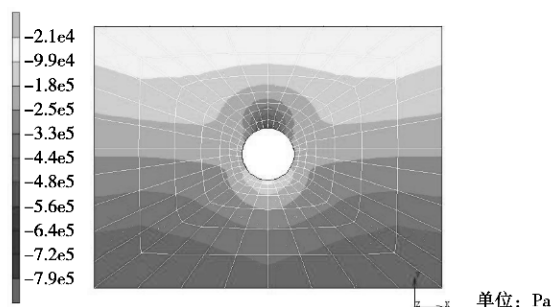


图 10 裂缝带竖向围岩压力分布云图

Fig. 10 Distribution of vertical rock stress in fissure belt

图 11、图 12 分别给出了沿隧道顶部和底部土体竖向围岩压力的分布曲线。由图可见, 地裂缝的活动引起上盘内距离裂缝 40 m 范围内隧道顶部的竖向围岩压力剧增, 隧道底部的竖向围岩压力剧减; 同时引起下盘内距离裂缝 30 m 范围内隧道顶部围岩压力的减小, 隧道底部围岩压力的增大, 但幅值的变化明显小于上盘。

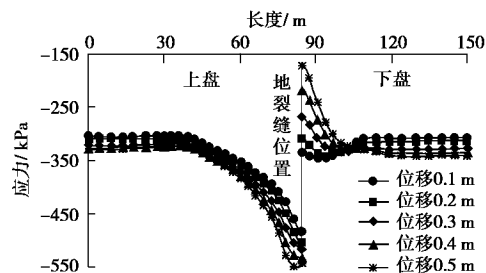


图 11 隧道顶部竖向围岩压力分布曲线

Fig. 11 Distribution of vertical rock stress above the metro tunnel under displacements of 10~50 cm of ground surface

在上盘地裂缝影响范围内, 由于隧道顶部的竖向围岩压力远远大于隧道底部的竖向围岩压力, 因此, 当地铁隧道作为整体结构跨越裂缝带时, 往往忽略隧道底部土体对隧道结构的竖向作用力, 将结构考虑为跨度等于影响范围的简支梁结构和悬臂梁结构。

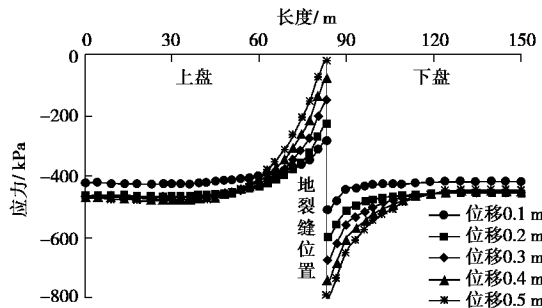


图 12 隧道底部竖向围岩压力分布曲线

Fig. 12 Distribution of vertical rock stress below the metro tunnel under displacement of 10~50 cm of ground surface

5 裂缝带竖向围岩压力的极限平衡公式

由前面的分析可知, 对跨越地裂缝带的地铁隧道进行设计时, 是不能把它看作平面应变问题来处理的。可以把该段隧道结构当作一根以沉降变形区两端为支撑的梁构件, 受到车辆荷载、围岩压力等竖向荷载的作用发生弯曲变形。因此, 对其进行抗弯设计时, 如何考虑作用于隧道结构上的竖向荷载是至关重要的, 特别是如何计算这种由于地裂缝活动引起的竖向围岩压力。

根据西安地铁的实际情况, 当地裂缝活动时, 跨地裂缝的隧道结构阻止结构顶部一定范围内的岩土体向下活动, 而隧道支护结构两旁的土体, 则对其产生向下的拖拽作用。此时, 在隧道顶部是不会形成压力拱的, 可以采用应力传递原理计算作用在隧道顶部的竖向围岩压力。

根据土压力理论, 当隧道两旁土体 a, b 向下活动时, 将使隧道顶部土体 ABCD 失去侧向支撑, 并在土体中形成一个与水平面成 b 角的破裂滑面 BC 及 AD, 其中 $b = 45^\circ + f/2$, f 为内摩擦角。此时两侧土体 a, b 的下沉, 将对隧道顶部的土体产生向下的拖拽作用, 在滑面上表现为向下的摩擦力, 如图 13 所示。因此, 地裂缝活动时作用在土体 ABCD 上的力有: ABCD 重力 W ; 沿滑面向下的摩擦力 T ; 两侧三棱土体的支撑力 E ; 隧道的支撑力 P 。根据力的平衡理论有

$$W + 2T \sin b - 2E_y - P = 0 \quad (1)$$

式中 W 为土体 ABCD 的重力, 若沿隧道纵向取单位长度计算, 土体的重度为 g , 则

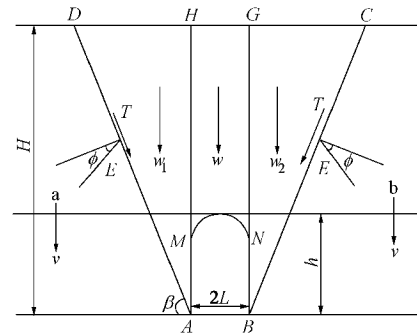


图 13 隧道竖向围岩压力计算图

Fig. 13 Calculation of vertical pressure of metro tunnel

$$W = w_1 + w_2 + w = [2L(H-h) + \frac{H^2}{\tan b}] \times g \quad (2)$$

将 a、b 的侧面 AD、BC 看作挡土墙背, 那么土柱 ABCD 将分别对 AD、BC 产生主动土压力, 由库仑土压力理论有

$$E = \frac{1}{2} g H^2 I \quad (3)$$

其中, I 是 f 的函数。

$$I = \cos^2(\frac{3}{2}f - 45^\circ) / \{ \cos^2(45^\circ - \frac{1}{2}f) \cos(45^\circ + \frac{1}{2}f) \cdot$$

$$[1 + \sqrt{\frac{\sin 2f \sin f}{\cos(45^\circ + \frac{1}{2}f) \cos(45^\circ - \frac{1}{2}f)}}]^2 \}$$

$$\text{即 } I = \frac{1 + \sin 3f}{\cos(f) \cos(45^\circ - \frac{f}{2}) [1 + 2 \sin f]^2} \quad (4)$$

则 $T = E \cos f \times f$, 取摩擦系数 $f = \tan f$, 则

$$T = E \sin f \quad (5)$$

$$E_y = E \cos(45^\circ - \frac{f}{2}) = \frac{1}{2} g H^2 I \cos(45^\circ - \frac{f}{2}) \quad (6)$$

所以, 作用在隧道衬砌上的竖向围岩压力 P 为

$$P = W + 2T \sin(45^\circ + \frac{f}{2}) - 2E \cos(45^\circ - \frac{f}{2}) \quad (7)$$

将 W , T , E 代入整理有

$$P = \left[2L(H-h) + \frac{H^2}{\tan(45^\circ + \frac{f}{2})} \right] \times g - g H^2 I \sin(45^\circ + \frac{f}{2}) (1 - \sin f) \quad (8)$$

因此, 可按上式 (8) 计算地裂缝影响范围内作用于隧道顶部的竖向围岩压力。

6 结 论

通过以上的分析, 可得如下结论:

(1) 地裂缝的活动引起裂缝带土体的不均匀沉降, 从而导致裂缝带隧道结构发生弯曲变形, 弯曲变形的影响范围基本是上盘距离地裂缝 30~40 m 至下盘距离裂缝 20~30 m 的范围, 这也可以认为是跨越西安地裂缝的地铁隧道结构的设防范围。

(2) 地裂缝活动同时引起裂缝带两侧隧道所受纵向应力剧增, 处于拉、压的受力状态, 这种应力剧增的范围主要分布在裂缝两侧各 50 m 范围之内, 并且最大受力断面主要在裂缝两侧 15~20 m 范围之内, 是纵向受力的最危险断面。同时, 上盘土体的下降对裂缝两侧 15 m 范围内的隧道结构产生较大的剪切作用。

(3) 地裂缝的活动将改变裂缝带隧道围岩压力的分布特征, 使上盘距离裂缝带 40 m 范围内隧道顶部的竖向围岩压力远远大于底部及两侧的竖向围岩压力。因此, 当地铁隧道作为整体结构跨越裂缝带时, 可以忽略隧道底部土体对隧道结构的竖向作用力, 将结构当作一根以沉降变形区两端为支撑的简支或悬臂梁构件。此时, 可以通过应力传递原理来计算这种由于地裂缝的活动引起的作用在隧道顶部的竖向围岩压力, 并以此进行抗弯设计。

参考文献:

- [1] 西安市城市快速轨道交通二号线详细勘察阶段沿线地裂缝勘察报告[R]. 西安: 长安大学工程设计研究院, 2007: 10 - 24. (Investigation report on ground fractures along Xi'an metro line 2 at the detailed investigation stage[R]. Xi'an: Engineering Design Institute, Chang'an University, 2007: 10 - 24. (in Chinese))
- [2] 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. (WANG Jing-ming. Theory of ground fissure hazards and its application[M]. Xi'an: Shaanxi Science and Technology Press, 2000. (in Chinese))
- [3] 张家明. 西安地裂缝研究[M]. 西安: 西北大学出版社, 1990. (ZHANG Jia-ming. Research on ground fissures in the region of Xi'an[M]. Xi'an: North West University Press, 1990. (in Chinese))
- [4] 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. (LI Yong-shan. Research on ground fissures in Xi'an region and active faults in Weihei basin[M]. Beijing: Earthquake Press, 1992. (in Chinese))
- [5] 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. (WU Qiang, CHEN Pei-pei. Research on state of art and prospect of earth fissures[J]. Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2003, 14(1): 22 - 27. (in Chinese))
- [6] 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, 2(30): 172 - 176. (MEN Yu-ming, SHI Yu-ling. Some important scientific questions in the research on Xi'an ground fissure[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2008, 2(30): 172 - 176. (in Chinese))
- [7] 师亚芹. 跨西安地裂缝建筑一般建筑物的可能性探讨[J]. 灾害学, 2001, 16(2): 76 - 81. (SHI Ya-qin. Discussion on possibility to construct ordinary buildings across ground fissures in Xi'an[J]. Journal of Catastrophology, 2001, 16(2): 76 - 81. (in Chinese))
- [8] 伍法权, 王学潮, 国连杰, 等. 南水北调西线一期工程区断层活动性及其对工程的影响分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(8): 1370 - 1374. (WU Fa-quan, WANG Xue-chao, GUO Lian-jie, et al. Fault activity and its effect on the west line of water diversion project from south to north of China[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2004, 23(8): 1370 - 1374. (in Chinese))
- [9] 黄生文, 司铁汉, 陈文胜, 等. 断层对大跨度隧道围岩应力影响的有限元分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2006, 25(2): 3788 - 3793. (HUANG Sheng-wen, SI Tie-han, CHEN Wen-sheng, et al. Finite element analyses of influence of fault on large-span tunnel surrounding rock stress[J]. Rock and Soil Mechanics, 2006, 25(2): 3788 - 3793. (in Chinese))
- [10] 张东升, 张吉雄, 徐金海. 预掘巷过断层及其研石井下处理技术[J]. 中国矿业大学学报, 2004, 33(2): 178 - 182. (ZHANG Dong-shen, ZHANG Ji-xiong, XU Jin-hai. Pre-driven roadway in fault and underground disposal of associated waste[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2004, 33(2): 178 - 182. (in Chinese))
- [11] 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. (Research on structure technique of No 2 subway tunnel cross through the ground fissure belt of Xi'an[R]. Xi'an: Chang'an University, 2007. (in Chinese))
- [12] 范 文, 邓龙胜, 彭建兵, 等. 地铁隧道穿越地裂缝带的物理模型试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2008, 27(9): 1917 - 1923. (FAN Wen, DENG Long-sheng, PENG Jian-bing, et al. Study on the physical model experiment of metro tunnel crossing ground fissure belt[J]. Rock and Soil Mechanics, 2008, 27(9): 1917 - 1923. (in Chinese))

- [13] 黄强兵, 彭建兵, 门玉明, 等. 地裂缝对地铁明挖整体式衬砌隧道影响机制的模型试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2008, **27**(11): 2324 - 2331. (HUANG Qiang-bing, PENG Jian-bing, MEN Yu-ming, et al. Model test study on effect of ground fissure on open-cut metro tunnel with integral lining[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2008, **27**(11): 2324 - 2331. (in Chinese))
- [14] 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, **31**(5): 781 - 788. (HUANG Qiang-bing, PENG Jian-bing, FAN Hong-wei, et al. Metro tunnel hazards induced by active ground fissures in Xi'an and relevant control measures[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2009, **31**(5): 781 - 788. (in Chinese))
- [15] 邓亚虹, 彭建兵, 范文, 等. 地裂缝活动环境下盾构隧道双层衬砌性状分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2008, **27**(增 2): 3860 - 3867. (DENG Ya-hong, PENG Jian-bing, FAN Wen, et al. Analysis of double-layered liner behaviors of shield tunnel under active moving ground-fissures[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2008, **27**(S2): 3860 - 3867. (in Chinese))
- [16] 易学发. 西安市地面不均匀沉降及地裂缝成因的讨论[J]. 地震, 1984(6): 50 - 54. (YI Xue-fa. Research on the asymmetry decline ground and the cause of ground fissure in Xi'an[J]. Earthquake, 1984(6): 50 - 54. (in Chinese))
- [17] 王六桥, 李善茵. 地下水变化引起地面变形的可能机理[J]. 地震学报, 1984, **6**(2): 203 - 210. (WANG Liu-qiao, LI Shan-yin. Research on the deformation principle of ground induced by the variety level of ground water[J]. Journal of Earthquake, 1984, **6**(2): 203 - 210. (in Chinese))
- [18] 赵其华, 王兰生. 构造重力扩展机制的地质力学模型[J]. 工程地质学报, 1995(3): 21 - 27. (ZHAO Qi-hua, WANG Lan-sheng. Mechanic model of geology about the extend principles of conformation gravity[J]. Journal of Engineering Geology, 1995(3): 21 - 27. (in Chinese))
- [19] 刘国昌. 西安的地裂缝[J]. 西安地质学院院报, 1986(4): 9 - 22. (LIU Guo-chang. Ground fissure of Xi'an[J]. Journal of Xi'an Geology College, 1986(4): 9 - 22. (in Chinese))
- [20] PEN J B, SUN P, LI X A. Ground fissure: the major geological and environmental problem in the development of Xi'an City, China[M]// Environmental Science and Technology, 2006: 469 - 474.

Twin International Conferences on Geotechnical and Geo-Environmental Engineering 4th Gt-Seoul-Ocean Construction & 7th Ground Improvement Techniques (23~25 June 2010, Seoul, S. Korea)

Managed by: Ci-premier conference organization, Singapore
GT10-Green Ocean Construction

Leed (leadership in energy and environmental design);
Nature's extreme events; Rising ocean level; Early warnings for natural disasters; Resources exploration and supporting facilities; Waste management; Disposition of retired structures-e.g., artificial reef, etc.; Waterborne transportation facilities; Coastal and offshore structures; Beach restoration; Dredging.

Renewal energy (in the form of winds, waves, tides, currents and the density and thermal gradients between ocean water layers)

1. Open ocean aquaculture; 2. Desalinization; 3. Deep ocean water technology; 4. Strait crossings (e.g., Bearing, Messina, Gibraltar, Taiwan-China, Shandong, China to Korea; 5. Interocean passageway (e.g., Panama Canal Expansion, Nicaragua Canal).

GI10-7th Ground Improvement Techniques

Mechanical and chemical stabilization of soils; Accelerating consolidation of clayey soils (preloading, electroosmosis, geodrains, vacuum); Deep compaction of granular soils (blasting,

heavy compaction, vibrocompaction); Soil reinforcement (facing, backfill, reinforcements); Grouting; Thermal stabilisation of soils; Deep soil mixing, micropiles, stone columns, granular piles; Innovative techniques in ground improvement; Evaluation of ground improvement and theoretical methods; Environmental aspects.

Submissions are now invited and abstracts (on about 400 words, within on A4 page), may be sent to the conference director, Er. John S Y Tan, via email: cipremie@singnet.com.sg.

Important dates: 15 January 2010 — close of abstract submission; 01 February 2010 — notification of acceptance; 01 May 2010 — full text to be received; 23~25 June 2010 — dates of conference.

GT10/GI10-Conference Secretariat

CI-PREMIER PTE LTD

150 Orchard Road #07-14, Orchard Plaza, Singapore 238841

Tel: +56-6733 2922; Fax: +65-6235 3530; E-mail:

cipremie@singnet.com.sg; Website: www.cipremier.com.