

文章编号: 1008-5564(2017)05-0105-04

地裂缝环境下地铁隧道纵向受力机理研究

刘 洋^{1,2}, 刘妮娜³

(1. 陕西交通职业技术学院 建筑与测绘工程学院, 西安 710018;
2. 西安建筑科技大学 西部绿色建筑重点实验室, 西安 710055; 3. 长安大学 地测学院, 西安 710065)

摘 要: 以西安地铁隧道建设与地裂缝发育为背景, 选取地裂缝处隧道为研究模型, 详细分析了地裂缝环境下地铁隧道衬砌结构的受力、变形破坏模式。地裂缝环境下, 除了通常情况下的荷载以外, 由于地裂缝的运动, 地裂缝上下盘发生相对竖向位错运动直接作用在隧道结构上, 对隧道结构的受力产生很大影响。对隧道衬砌结构的内力计算进行了讨论, 建立了地裂缝环境下隧道衬砌结构纵向内力计算的简化计算模型, 并通过分析得出了纵向受力的计算公式。

关键词: 地裂缝; 受力模型; 相对位移

中图分类号: TU93 + 1; [U25]

文献标志码: A

Research on Longitudinal Stress Mechanism of Metro Tunnel Under Ground Fissure Environment

LIU Yang^{1,2}, LIU Ni-na³

(1. School of Civil Engineering & Geodesy, Shaanxi College of Communication Technology, Xi'an 710018, China; 2. Key Laboratory of Green Building in Western China, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China; 3. School of Earth Surveying, Chang'an University, Xi'an 710065, China)

Abstract: Taking the construction of Xi'an subway tunnel and the development of ground fissure as the background, the tunnel in the ground fissure is taken as the research model. The stress, deformation and failure modes of the lining structure of the subway tunnel under the ground fissure environment are analyzed in detail. In the environment of ground fissures, in addition to the load under normal circumstances, because of the movement of ground fissures, the relative vertical dislocation motion on the footwall of the ground fissure directly acts on the tunnel structure, which has a great influence on the stress of the tunnel structure. In this paper, the internal force calculation of tunnel lining structure is discussed. The simplified calculation model of longitudinal internal force of tunnel lining structure under ground fissure environment is established, and the calculation formula of longitudinal force is obtained by analysis.

Key words: ground fissure; force model; relative displacement

收稿日期: 2017-03-15

基金项目: 陕西省教育厅专项科研计划项目(17JK0072); 青年科学基金项目(41502277); 西部绿色建筑国家重点实验室培育基地开放研究基金(LSKF201707)

作者简介: 刘 洋(1980—), 男, 陕西子长人, 陕西交通职业技术学院建筑与测绘工程学院讲师, 博士研究生, 主要从事结构智能控制, 工程防灾减灾研究。

近年来,我国地铁建设如火如荼.截至2016年9月,全国已有43个城市的轨道交通建设近期规划获得了国家与有关部门的批准,我国轨道交通运营线路累计将达到88条,已居世界第一位.轨道交通地铁建设中,受到了地质灾害的制约,我国是世界上地裂缝灾害最为严重的国家,以苏锡常地区、华北平原和汾渭盆地地裂缝灾害尤为突出.这些经济发展迅速,城市轨道建设集中地区的轨道交通建设无疑面临严重的地裂缝及其伴生地质灾害的威胁.西安位于我国地裂缝灾害严重发育的汾渭盆地中部,区内先后发现了如图1所示的14条地裂缝带,已经致使不少构筑物遭到破坏.且地裂缝还在不断发育中,新的地裂缝带也不断发育,严重制约了基础设施建设用地的有效性和城市发展,也为已建成城市轨道交通留下了安全隐患.

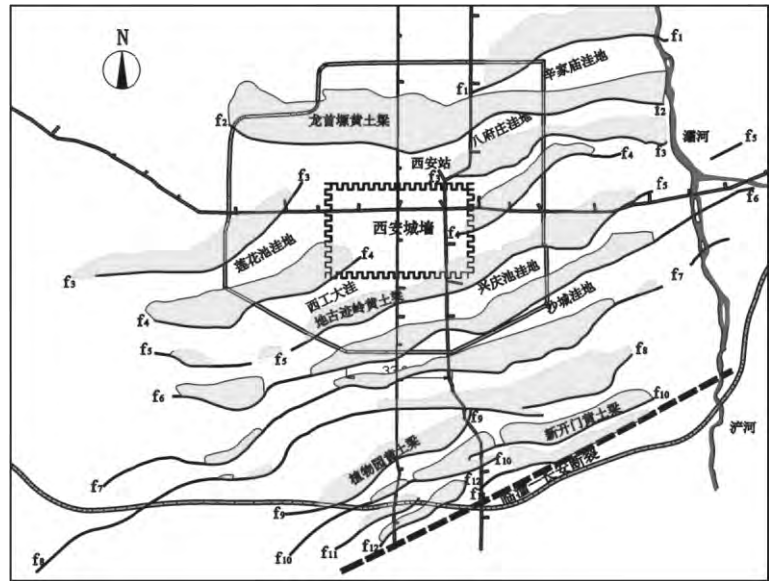


图1 西安地裂缝与地貌构造图

地裂缝发育是由内、外营力以及人类活动等因素引发的一种地面破坏现象,也是一种缓慢发展的渐进性地质灾害.地裂缝主要通过上下盘不均匀沉降造成各类工程建筑,如城市建筑、运输管道工程、交通、农田和水利设施等的直接破坏,而且引发了一系列严重的环境问题,已成为当今世界范围的主要地质灾害之一,越来越引起学术界和工程界的高度关注^[1-3].

本文以西安地铁隧道为模型,分析了地裂缝环境下地铁隧道衬砌结构的纵向受力、变形破坏模式.地裂缝环境下,除了通常情况下的荷载以外,由于地裂缝的运动,地裂缝上下盘发生相对竖向位错运动直接作用在隧道结构上,对隧道结构的受力产生很大影响.对隧道衬砌结构的纵向内力计算进行了讨论,建立了地裂缝环境下隧道衬砌结构纵向内力计算的简化计算模型,并通过分析得出了纵向受力的计算公式.

1 计算模型

1.1 研究背景

以西安地区地裂缝为研究背景,马蹄形隧道在围岩(土)中示意简图研究在地裂缝环境下,地裂缝与隧道结构相交处,地裂缝上、下盘错位移动时,隧道结构的纵向受力分析.如图2所示为马蹄形隧道结构在普通段的埋深及地质情况示意图.

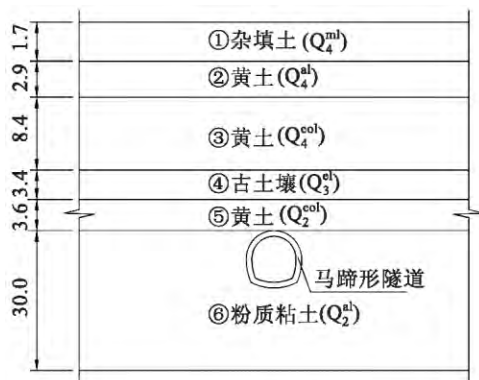


图2 隧道在围岩(土)中示意简图

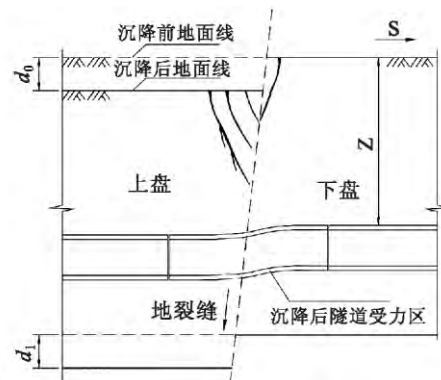


图3 隧道受力变形示意

1.2 纵向受力变形计算

西安地铁主要采用盾构结构,穿越地裂缝段有马蹄形衬砌结构形式.本文仅考虑马蹄形隧道结构在地裂缝环境下纵向内力计算.地裂缝发育地质环境下,隧道结构在常规考虑恒载、活载、车辆动荷载等荷载以外,务必要考虑地裂缝不断发育过程中,上、下盘围岩土体运动产生的位移荷载.且地裂缝处围岩上下盘发生相对竖向位错运动产生的位移荷载直接作用在隧道结构上.此时,地裂缝环境下马蹄形隧道结构,可以简化为一段刚性构件,两端由于加固的围岩体的作用,可以认定为两端固接,即在隧道两端处确定约束条件,支座只发生竖向位移,上、下盘发生竖向位错.围岩上下盘土体相对位移荷载对隧道结构的受力产生很大影响.通过对已有资料、试验结果的整理研究和分析,得出如图3所示的马蹄形隧道结构在地裂缝环境下上下盘发育过程中产生位移错位时的受力变形示意图.通过对勘察、设计资料 and 实际施工过程中数据整理,得出如图4所示模型在地裂缝处荷载条件示意图,主要有简化后的竖向均布荷载和上、下盘土体的相对位移荷载.在荷载作用下,通过计算分析,得出如图5所示的地裂缝处隧道结构模型的结构变形示意图^[4-6].

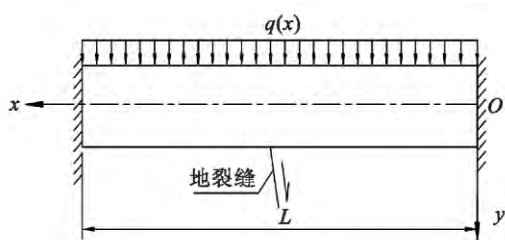


图4 模型示意图

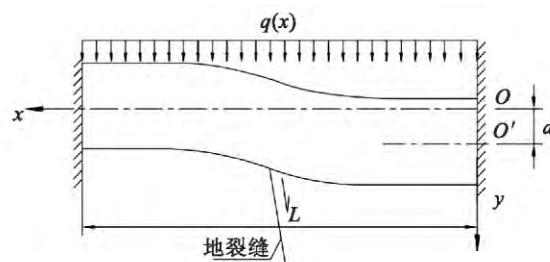


图5 模型变形示意图

由于假设两端固接,此时可按照反向弯曲内力计算模型来计算隧道结构在地裂缝发育情况下纵向受力时的弯矩和剪力.通过分析对比,有以下仅考虑反向弯曲内力计算的公式弯矩计算公式(1)和剪力计算公式(2):

$$M = -\frac{6EI dx}{l^3}(l - 2x) - \left(\frac{1}{2}qlx - \frac{qx^2}{2}\right) \tag{1}$$

$$Q = \frac{12EI dx}{l^4} - \left(\frac{ql}{2} - qx\right) \tag{2}$$

式中: M 为弯矩; Q 为剪力; E 为隧道结构材料弹性模量; I 为截面在平面内的转动惯量; l 为隧道计算长度; x 为如图5所示坐标系中横坐标值; q 为简化后的竖向均布荷载.

通过计算分析,得出如图6和图7所示的隧道结构纵向受力的弯矩图和剪力图示意图.



图6 模型剪力图

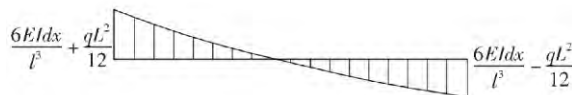


图7 模型弯矩图

1.3 按弹性地基模式计算纵向受力

地裂缝环境使得本来就复杂的地下地铁结构隧道的受力体系更加复杂,所以在简化分析计算研究过程中需要突出主要受力模式.在以往研究成果的基础上,充分考虑地裂缝不断发育运动条件下,按照立项弹性地基来分析地铁隧道结构的受力的模式.具体按文克尔弹性地基梁计算理论,分析得出与图8所示仅考虑反向弯曲时的荷载模型,简化模型与图4对应.这里需要明确的是,根据以往试验总结得出关于实际分段式隧道结构在地裂缝带围岩(土)中的荷载作用,隧道在上下盘内受到竖向荷载大小并不不同,如图9所示,上盘处 $q_2 < q_0$, $q_1 > q_0$, 此处 q_0 为通过荷载推导得到的土压力竖向荷载.

通过计算分析,考虑地裂缝处上下盘错位发育运动时,隧道结构纵向由于上下盘土体的嵌固作用,

仅考虑杆件的反向弯曲时,结构在纵向受力的简化模型,经过分析得出弯矩计算公式(3)和剪力计算公式(4),如下所示:

$$M = y_0 \frac{K}{2\alpha^2} \varphi_3 + \theta_0 \frac{K}{4\alpha^3} + M_0 \varphi_1 + Q_0 \frac{1}{2\alpha} \varphi_2 - \frac{q_0}{2\alpha^2} \varphi_3 + \frac{6EIdx}{l^3} (l - 2x) \quad (3)$$

$$Q = y_0 \frac{K}{2\alpha^2} \varphi_2 + \theta_0 \frac{K}{2\alpha^2} \varphi_3 - M_0 \alpha \varphi_4 + Q_0 \varphi_1 - \frac{q_0}{2\alpha} \varphi_2 + \frac{12EId}{l^3} \quad (4)$$

式中: k 为土压力系数; 系数 $\alpha = \sqrt[4]{\frac{k}{4EI}}$; $\varphi_1 = \text{ch}\alpha x \cos\alpha x$; $\varphi_2 = \text{ch}\alpha x \sin\alpha x + \text{sh}\alpha x \cos\alpha x$; $\varphi_3 = \text{sh}\alpha x \sin\alpha x$; $\varphi_4 = \text{ch}\alpha x \sin\alpha x - \text{sh}\alpha x \cos\alpha x$; y_0 、 θ_0 、 M_0 、 Q_0 分别为各自的初始值。

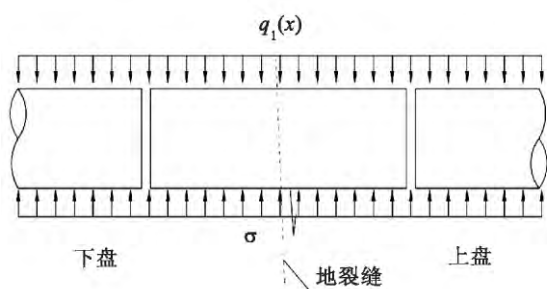


图8 反向弯曲荷载示意图一

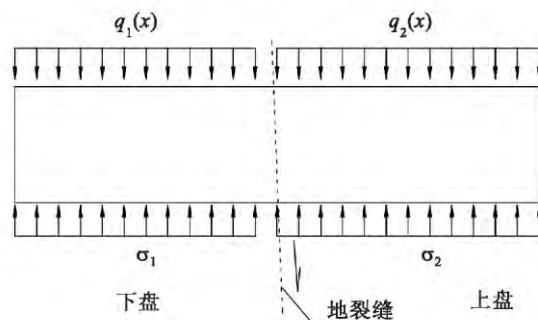


图9 反向弯曲荷载示意图二

2 结语

通过对隧道分析,研究了地裂缝环境下上下盘错位发育过程中,仅考虑地裂缝上下盘错位运动条件时,隧道结构纵向受力简化计算.通过研究得出以下结论:

(1) 隧道结构纵向受力计算简图,并给出了两端固接时模型的变形示意图,给出了隧道结构纵向受力时两端固接时模型的弯矩和剪力简化计算公式.

(2) 按文克尔弹性地基梁计算理论,仅考虑反向弯曲时的荷载模型隧道结构纵向由于上下盘土体的嵌固作用时,结构在纵向受力的简化模型和弯矩剪力简化计算公式

[参 考 文 献]

- [1] 陈红旗. 西安地裂缝地震动力效应研究[D]. 西安: 长安大学博士学位论文, 2002.
- [2] 陈立伟. 地裂缝扩展机理研究[D]. 西安: 长安大学博士学位论文, 2007.
- [3] 刘洋. 穿越地裂缝带的马蹄形隧道结构-围岩(土)相互作用研究[D]. 西安: 长安大学硕士学位论文, 2010.
- [4] 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): 781 - 788.
- [5] 刘妮娜. 地裂缝环境下的地铁隧道-地层地震动力相互作用研究[D]. 西安: 长安大学博士学位论文, 2010.
- [6] 张结红, 刘洋. 地裂缝环境下马蹄形地铁隧道与土体相互作用的研究[J]. 防灾减灾工程学报, 2011, 3(31): 281 - 287.

[责任编辑 王新奇]