维普资讯 http://www.cqvip.com

第26卷 第6期
2006年12月

隧道建设
Tunnel Construction

26(6)：30～33
Dec.，2006

西安市轨道交通二号线区间隧道穿越地裂缝带的技术方案探析

李凤蓉

（中铁隧道勘测设计院有限公司，河南 洛阳 471009）

摘要：西安市近50年来由于过度开采深层地下水，诱发地裂缝恢复活动，轨道交通二号线要通过12条地裂缝，其中有6条活动性较强。通过对地裂缝的形成原因、特征及地裂缝的分类等方面的具体分析，重点剖析投标阶段区间隧道通过地裂缝段的结构如何在设计寿命100年内适应地裂缝的变形，保证结构功能正常发挥。

关键词：地裂缝带；区间隧道；地质灾害；破坏性；结构设计方案

中图分类号：U455　　**文献标识码**：B

Technical Scheme of Running Tunnels of Line 2 of Xi'an Mass Rapid Transit System Crossing Ground Cracking Zones

LI Feng-rong

(*China Railway Tunnel Survey & Design Institute Co.*, *Ltd.*, *Luoyang* 471009, *Henan*, *China*)

Abstract: Due to the excessive exploiting of the deep ground water in Xi'an city in the last 50 years, the activities of the ground cracks are recovered. Line 2 of Xi'an Mass Rapid Transit System crosses 12 ground cracks, which include 6 ground cracks with strong activities. On basis of analysis on the causes, features and types of the ground cracks, the paper presents the technical schemes of the structures of the running tunnels crossing the ground cracks recommended in the bidding stage, so that the structures of the running tunnels can be adapted to the deformation of the ground cracks and work well during the 100-year design life.

Key words: ground crack; running tunnel; geological disaster; destruction; structural design scheme

西安市轨道交通二号线呈南北向展布，贯穿城区，北起新建铁路郑西客运专线西安北客站，向南沿未央路进入北关正街，穿北大街，经钟楼、南大街，过南门，沿南关正街、长安北路、长安南路，经北长安街，南长安街至终点韦曲，线路正线长26.302 km。

地裂缝是西安市主要的地质灾害之一，其运动变化复杂，对建筑物、道路、管线的破坏性极大。西安市自上世纪50年代以来，已发现地裂缝13条，其中二号线通过12条地裂缝。地铁区间隧道因其连续性而无法避让开地裂缝活动带的现状使得区间主体结构如何设计才能在其使用寿命100年内适应地裂缝的变形，保证在地裂缝发生变形后地铁区间仍能够正常运营成为轨道交通二号线建设面临的一个重大技术难题。

1　西安地裂缝的基本情况简述

1.1　地裂缝的成因分析

西安地裂缝是在西安正断层组的基础上发育起来的，其成因复杂，一般认为，西安地裂缝发育在鄂尔多斯块东南的汾渭地堑系中，由于受西安地区NE向构造的伸展运动控制，在NNW向区域引张应力场作用下，以断块向斜为主的西安伸展断裂系活动，是西安地裂缝形成和发展的构造本质。

地裂缝自上世纪50年代恢复活动，从其活动具有明显的季节差异性、准周期性、间歇性，时强时弱，时缓时急分析，过量开采深层地下水，引发下层地层释水压缩，上层陷落，造成严重的地面沉降，是加速地裂缝发展的主要原因。

1.2　地裂缝的特征

西安地裂缝由南而北在黄土梁洼之间有规律排列，呈带状分布，走向为NE60～80°，局部近EW，倾向SE，倾角70～80°。南盘下降具有左旋扭转性，垂直位移量大。各条地裂缝带大体呈等间距近似平行排列，间距为0.4～2.1 km，平均约1 km。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20～60 m。

收稿日期：2006－08－03；**修回日期**：2006－10－11

作者简介：李凤蓉(1969－)，女，山西原平人，工程师、注册监理工程师、注册咨询工程师，1993年毕业于西南交通大学峨嵋分校隧道与地下工程专业，现主要从事隧道与地下工程的勘测设计工作。

维普资讯 http://www.cqvip.com

西安地裂缝在剖面上的形态一般为上宽下窄的楔形，向下逐渐消失，最深达百余米，可见深度多为10 m左右。地裂缝主体倾向南，倾角较陡，一般在70°以上。

1.3　地裂缝的运动状态

地裂缝带基本具有统一的三维空间运动变形特征，即南倾北降的垂直位移、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。地裂缝垂直活动速率以5～30 mm/a者居多，最大者愈50 mm/a，水平引张位移中等，引张速率为2～10 mm/a，扭动量最小，速率为1～3 mm/a。近几年随着黑河引水工程的供水量不断增大，西安市的规划自备井逐渐关停，大部分地裂缝的活动在趋缓。

根据长年观测，地裂缝扭动、引张量小可忽略不计，仅考虑上下盘垂直错动，上盘沉降，下盘基本稳定，如图1所示。

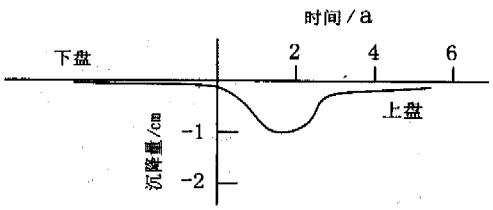


图1　地裂缝上下盘沉降状态示意图

Fig. 1　Sketch of settlement of top wall and bottom wall of ground cracks

1.4　地裂缝的破坏性

地裂缝是西安市主要的地质灾害之一，给西安市造成了极大的危害。主要有：1）各类跨越地裂缝的建筑物，都遭到严重破坏，成为危房；2）道路挠曲、裂缝、错断、引起地表水渗入，造成黄土湿陷、路面塌陷，导致交通事故；3）人防地道开裂、断裂；4）煤气和上、下水管道等地下设施损坏和断裂；5）农田裂缝漏水、跑肥，以及衍生次生其它灾害等。

1.5　地裂缝的分类

西安地裂缝在时间上具有时强时弱、时缓时急的突跳、间歇性和准周期性，而且不同地裂缝带或同一地裂缝带的不同地段其活动速率也有较大差异。分析地裂缝带的活动情况和平面展布特征，与轨道交通二号线相关的12条地裂缝变化状态各不相同，以目前的垂直错动速率为主，结合各条地裂缝历史资料记录的沉降变动情况综合分析，大致可分为以下三类：

①A类：活动性微弱，处于缓慢沉降状态，或近年来基本无活动迹象；

②B类：活动性强烈，且破裂带宽度在10 m以内；

③C类：活动性较强或强烈，且破裂带宽度在10 m以上，沉降较快，尚难以准确预料。

2　区间隧道设计方案

2.1　设计思路

从西安市多年的工程实践来看，以增强工程强度来抵抗地裂缝的破坏性是不现实的。故设计方案应使结构对地裂缝将引发的持续的地层沉降变形有着良好的适应性，从而将其固有的变形方式与位移控制在预设的位置与结构内，确保结构及运营安全；防水结构要解决因隧道变形位移、止水条松弛导致的防水失效问题，贯彻以防为主、防堵结合、防排结合、可予更换的综合防治原则；隧道结构变形位移与轨道线路的调整分离设计。

2.2　结构设计方案

2.2.1　适用A类地裂缝的设计方案

对活动微弱的地裂缝发育地段，在结构措施上考虑以防为主，在其结构和防水采取必要的措施后直接通过。为防止地裂缝出现新的扩展和活动，并使结构能适应其缓慢变形而不影响地铁正常运营可以采取以下四种措施：1）填塞夯实区间隧道经过地段的地表裂缝，同时设置完善的地表排水系统，对地面现有的给、排水管道进行整修，严防管道漏水和地表水渗入地裂缝引起裂缝新的活动和扩展。2）采用可允许有一定相对变形的钢筋混凝土管片或钢管片，并在轨枕底部设置可调节高度的垫板，各管片之间采用柔性接头，并加强防水构造措施。当地裂缝有小量的变形时，管段也随之变形，由于处于地裂缝活动微弱地段，地裂缝影响带内的剪切变形很小，因而不会引起管段断裂现象。对于因管片变形引起的轨道下沉问题，可通过人工调节轨枕下部的垫板高度来予以解决。3）对隧道基础进行换土处理，挖除基础下一定深度内的湿陷性黄土，并在隧道基础底部加一层砂垫层，以缓冲不均匀沉降带来的危害，隧道衬砌可采用允许有一定相对变形的钢筋混筋混凝土管片或钢管片。4）在轨枕底部安装一种蛇形弹簧，利用蛇形弹簧对结构高度进行调节，以适应地裂缝的变形，保证地铁运营的正常进行，如图2所示。

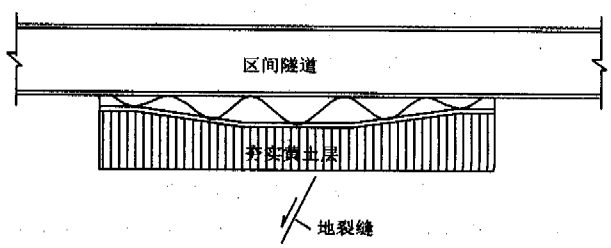


图2　蛇形弹簧处理图

Fig. 2　Sketch of running tunnel consolidated by serpentine spring

2.2.2　适用B类地裂缝的设计方案

对活动性强烈的单条或多条地裂缝，且破裂带宽度在10 m以内的地裂缝带，可通过简支梁直接跨越。简支梁基础采用桩基础，在地裂缝两侧各20 m处施做

维普资讯 http://www.cqvip.com

桩墩,将通过地裂缝段隧道设计为梁式结构现浇其上。简支梁区间隧道与正常段隧道之间设置沉降缝以适应地裂缝活动,地裂缝上下盘垂直错动时墩台产生差异沉降,梁形隧道随之发生整体倾斜而不破坏。同时对桩基到地裂缝之间的地基进行注浆加固处理,以阻止地裂缝向两侧迁移。裂缝之间的基础下部加一层砂垫层,以缓冲不均匀沉降带来的危害,如图3所示。

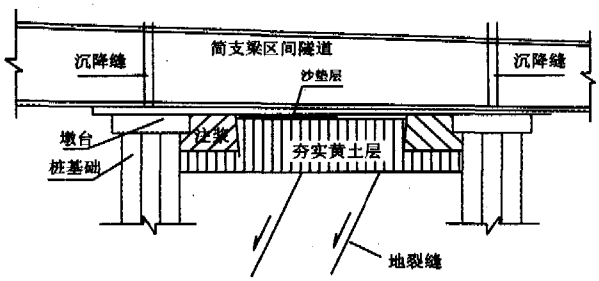


图3 简支梁跨越结构

Fig. 3 Sketch of running tunnel consolidated by simple-supported beam structure

2.2.3 适用C类地裂缝的设计方案

对活动性较强或强烈的多条地裂缝,且破裂带宽度在10 m以上的地裂缝,横断方向采用双层衬砌结构(如图4所示),纵断方向在上下盘连接处设置滑动面,使隧道在变形发生时能沿着滑动面自由滑动,同时多留沉降缝以保证隧道结构不至因地裂缝垂直错动而断裂(如图5所示)。双层衬砌结构由内外两层衬砌组成,外层衬砌承受周围土体压力和保证内层衬砌安全,内层衬砌保证行车安全,两层衬砌之间留有适当的间隙。由于两者之间预留了空间,地裂缝上下盘垂直错动时外层衬砌有较大的变形,但不会危及内层衬砌的安全。如图6所示。

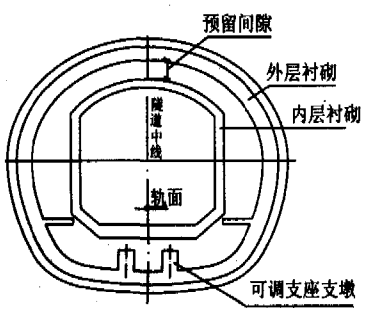


图4 双层衬砌横断面处理

Fig. 4 Sketch of running tunnel with double-layer linings

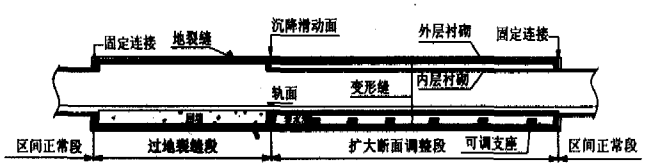


图5 纵断面初始状态

Fig. 5 Longitudinal profile of running tunnel in original state

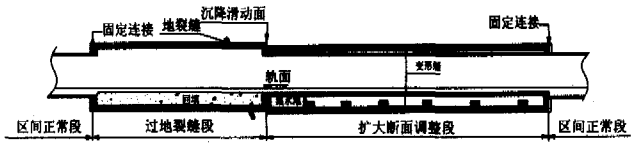


图6 纵断面沉降后状态

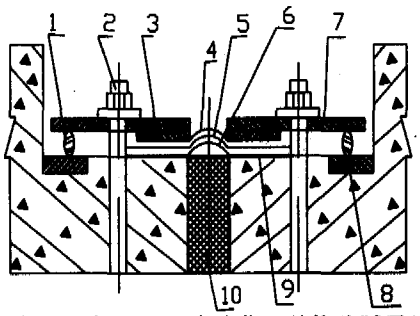
Fig. 6 Longitudinal profile of running tunnel after settlement

2.3 防水设计方案

鉴于明挖法隧道技术成熟、质量容易控制、便于实施防排水措施,以下仅就暗挖法防水方案进行探讨。

2.3.1 采用盾构法通过地裂缝段的防水方案

为增强隧道抵抗地裂缝剪切变形的能力和结构自身的防水,通过地裂缝段应采用强度和抗裂性能更好的管片,在管片接头处除采用传统的遇水膨胀止水带外,加设可更换、拆卸的可卸式止水装置。如图7所示。



1-紧固件圆钢;2-螺栓;3-未硫化丁基橡胶腻子片;4-覆布层;5-夹布;6-Ω型止水带;7-紧固件压板;8-预埋角钢;9-紧固件压块;10-高密度PE板

图7 内装可卸式止水装置

Fig. 7 Sketch of internal dismountable water-stopping apparatus

2.3.2 采用浅埋暗挖法通过地裂缝段的防水方案

浅埋暗挖法通过地裂缝段在横断方向应加强结构自防水能力。纵断方向主要是通过在地裂缝上下盘错动处设计滑动面及区间隧道增设沉降缝来适应地裂缝的活动,因此隧道防水的重点在于滑动面及沉降缝的防水。

(1)滑动面防水方案

① 压紧分力防水结构:如图8所示,在隧道滑动面接口运用"GINA"橡胶止水条,压紧在滑动面上以承受相应的水压力。橡胶条应有80 mm弹性变形量。滑动面夹角设计为90°,变形应力分解有垂直于滑动面压紧止水条的分力,也可弥补引张量,防止因隧道变形位移致使防水条松弛。此分力引起的结构位移量,由接口预留的空隙(约80 mm)及橡胶条的弹性变形适应。夹角最终应经计算及模拟实验确定。

② Y型注脂防水结构:如图9所示,Y型橡胶密封条压紧在滑动面上,隧道变形位移致使防水条松弛时通过在K段结构内预留的注脂孔向滑动面注入密封脂膏堵漏。

维普资讯 http://www.cqvip.com

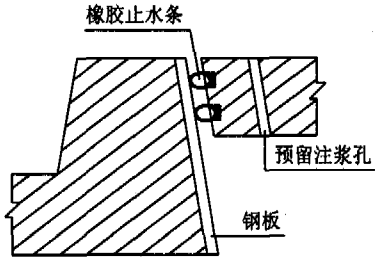


图8　具有压紧分力的防水结构

Fig. 8　Sketch of water-proofing structure with pressing force

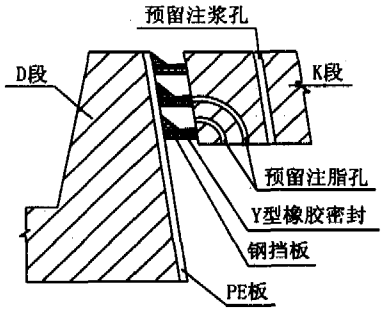


图9　Y型注脂防水结构

Fig. 9　Sketch of waterproofing structure with Y-shaped resin injections

(2)沉降缝处防水方案

① 在K段自身范围内,相对沉降量较小,并较为均匀,可通过如图10所示的结构将"张开"转为"压缩"以防止止水条松弛。变形量较大时,由两止水条先后为主承担变形防水。

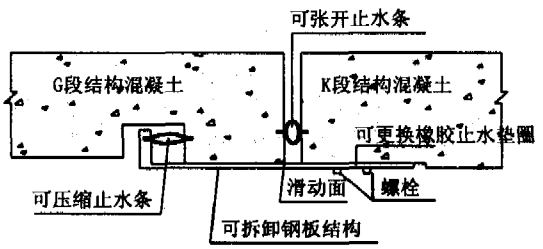


图10　张、压转换防水结构图

Fig. 10　Sketch of waterproofing structure with conversion between tensioning and pressing functions

② 在K段内侧设可调节、可更换止水橡胶垫圈止水框,以弥补接口变形张开,必要时更换止水橡胶垫圈。

3　道床设计及线路调整方案

道床设计及轨道线路的调整方案应与隧道结构变形位移分离设计。

(1)简支梁－浮置板组合道床设计方案

采用简支梁整体道床跨越地裂缝段,两侧设防滑装置,两端一定距离内辅以浮置板式轨道结构的整体道床。浮置板式轨道结构原是降低城市轨道传振和传声的最为有效的方法,经查证可采用特别设计来满足跨越地裂缝段道床最大沉降量所需调整高度的要求。

(2)线路调整方案

将过地裂缝段线路预设为上坡,线路坡度随同隧道下沉而趋缓。另外,在K段的结构设计中考虑道床下预留一定的操作空间,为工程将来难以预料的问题预留便于人为调整线路的可能。

4　结论

地下工程下穿活动裂缝是国内外公认的技术难题,西安地裂缝的产生和发展有其特殊性和复杂性,但只要对其有正确的认识,就能够找到合理的解决方法。对于轨道交通二号线来说,穿越地裂缝带结构措施成败的关键,也在于能否对地裂缝带的精确分布位置、裂缝带宽度和影响带宽度、活动方式及活动量等问题有明确的认识。故此在以后的设计中应对地裂缝进行专项勘察,确切查明地裂缝的位置、规模,对其活动规律进行深入研究,了解、掌握地裂缝对既有工程建筑的破坏情况。

地裂缝最初是由地壳运动形成的,西安市地裂缝在近五十年来的运动加剧却主要是由于过量开采地下水所致。最近几年逐渐关停规划自备井,禁止开采地下水,地裂缝的活动有减缓的趋势,这将极大地减轻地裂缝活动带来的危害,为轨道交通二号线的顺利建设提供有利条件。

参考文献:

[1] 陕西省建设厅. DBJ 24－6－88 西安地裂缝场地勘察与工程设计规程(试行)[S]. 1988.

[2] GB 50157—2003 地铁设计规范[S]. 北京:中国计划出版社,2003.

[3] 施仲衡. 地下铁道设计与施工[M]. 西安:陕西科技出版社,1997.

[4] 夏明耀,曾进伦. 地下工程设计施工手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1999.

[5] 铁道第一勘察设计院. 西安市城市快速轨道交通二号线(铁路北客站—韦曲段)工程可行性研究报告[R]. 2001.