

文章编号: 1004- 4574(2010) 03- 0045- 07

西安地裂区的岩土工程灾害与治理措施

于清高^{1,2}, 邵生俊¹, 郑万坤¹

(1. 西安理工大学, 陕西 西安 710048 2. 兰州交通大学, 甘肃 兰州 730070)

摘 要: 西安第四纪覆盖层受下伏岩层构造运动、人类工程活动及其它各种自然营力的作用而产生显著的不均匀沉降变形, 导致地层出现地裂缝, 构成了具有一定地裂缝分布特征、产状与运动特征的地裂区, 从而使其中的地基基础与地下工程因地裂缝的发展变化而存在特殊的岩土工程破坏, 如地基开裂、基础不均匀变形断裂、衬砌结构开裂或失稳、结构局部应力集中的强度破坏, 等等。“点”式建筑的避让法和“线型”地下隧道工程的“局部调整地裂缝变形, 兼顾主动适应变形和加强、改善支护结构”法是有效的工程治理方法。前者需要合理确定地裂缝上、下盘的安全距离, 后者需要相应的防渗技术与结构措施及耐久、准确的监测技术, 以便保证建筑或地下结构的安全运行。

关键词: 地裂区; 避让法; 主动适应变形法; 防渗技术; 结构措施; 监测技术

中图分类号: P315 69

文献标识码: A

Geo-engineering disasters in Xi'an ground fracture area and its control measures

YU Qing-gao^{1,2}, SHAO Sheng-jun¹, ZHENG Wan-kun¹

(1 Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China 2 Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China)

Abstract The areas of ground fracture with specifically distribution characteristics occurrence and the movement characteristic are caused by the basement rock tectonic movements, the human project activity or Quaternary Period overburden layer remarkable non-uniform distortion and the relative displacement. There is special geotechnical engineering damage in the soil foundation and the understructure work because of the ground fracture development, such as cracking and fracture deformation of the foundation, cracks and instability of lining structure, damage on the strength of the local stress of structure, and so on. The avoidance method of "Points" buildings and the initiative adaptation distortion method of "linear" underground projects are effective engineering control methods. The former needs to determine reasonably safe distance between upward displaced block and downward displaced block. The latter needs the corresponding anti-seepage technology, structure measure and durability accurate monitoring technology in order to ensure the safe operation of underground structures.

Key words ground fracture area, avoidance method, initiative adaptation distortion method, anti-seepage technology, structural measure, monitoring technology

地裂泛指所有的地表土层中的裂缝(不是岩层中的裂缝)。它可能是构造地裂,如地震、火山、岩壳蠕滑引起的地裂,也可能是地层不同形式的变形引起的非构造地裂,如滑塌地裂、塌陷型与沉降型地裂、膨胀或湿陷变形地裂、干湿与冻融地裂等^[1]。截止 1999 年底统计,全国发现具有一定规模能引起人们重视的地裂缝有 6 000 余条。其中,汾渭盆地有地裂缝 101 处 286 条,构造地裂缝占 82%、非构造地裂缝占 18%;河北平原

收稿日期: 2009- 07- 15 修订日期: 2010- 03- 20

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(10872161); 陕西省黄土力学与工程重点实验室基金资助项目(220533)

作者简介: 于清高(1964-),男,副教授,主要从事黄土力学与工程研究。E-mail: sqghad@xaut.edu.cn

有地裂缝 201 处 449 条, 构造地裂缝占 79.3%、非构造地裂缝占 20.7%。汾渭盆地的构造地裂缝中断层蠕滑型地裂缝约占 20.8%, 区域微破裂开启型地裂缝约占 79.2%; 河北平原则分别约占 15% 和 85%。从其分布格局、发育程度、成因类型组合和构造背景分析, 可分为华南、华北、东北和西部 4 个地裂缝分布区。各分布区地裂缝发育程度与当地地壳活动程度相对应, 西部地裂缝分布区的断层活动强烈, 强震频繁, 地壳相对不稳定, 地震地裂缝极发育; 华北地裂缝分布区的断层活动较强, 强震较多, 地壳基本稳定, 无震地裂缝和地震断层地裂缝较发育; 华南和东北两地裂缝分布区不活跃, 各自发生强震较少, 无震地裂缝不发育, 只有台湾出现较长的地震断层地裂缝。此外, 人类工程活动, 尤其是地下水开采也是近几十年来我国地裂区发展的主要原因。西安第四纪覆盖层场地是我国西部典型的地裂区, 西安市政建设中的任何工程均与其有密切关系^[2]。在西安地裂区建造建筑工程或地下隧道等工程时, 应查明地裂缝的具体位置、延伸方向、产状、影响带宽度及其发展变化机理, 合理评价地裂缝活动对场地稳定性的影响, 论证针对不同类型的地上、地下工程的有效工程措施, 这对于工程建设具有重要意义。

1 地裂区的成因与特征

关于地裂缝的成因美国学者早就形成了 3 种观点: 一是构造成因^[1]; 二是地下水开采成因^[3]; 三是构造与地下水开采复合成因^[4]。自 20 世纪 60 年代, 我国许多地区相继发现地裂缝, 对其成因的认识与美国学者相近, 可称“构造说”、“水土说”、“综合说” 3 种观点, 其争论今犹未止, 早期坚持“水土说”者居多, 随着工作的深入, “综合说”占了上风。研究表明, 决定地裂缝的形成和发育有多种因素。按其发生、发展过程中所起作用的组合, 可分为主导、诱发和影响 3 个因素。主导因素是控制地裂缝孕育、发展、活动性质和展布格局的决定性因素, 包括新生代的构造环境、构造基础和触发地裂缝产生的动力源; 诱发因素是决定和影响地裂缝发生时间、地段、强度的因素, 主要有降水、干旱、重力、地震等自然因素, 抽取地下水、农业灌溉等人为因素, 它们诱发隐伏地裂延及地表成缝; 影响因素则是影响地裂缝发育程度的因素, 如地形、气候、地层、土质、水体等因素。

构造运动是西安地裂区产生和发展的主要诱因之一^[5]。秦岭隆起和渭河平原下陷形成了渭河断裂、临潼—长安断裂构成的特殊构造区域, 区域内次级正断层的活动使得第四纪覆盖层具有明显的梁洼地貌形态。同时, 梁洼地貌及黄土地层沉积的特殊环境又使得洼地坡积地层松软, 固结变形发展较大。正断层的不断活动及梁洼地层沉降变形差异, 使得梁洼交界部位产生裂缝, 并伴随沉积年代而逐渐发展。此外, 西安地区及其周围历史上的大地震一方面促使其下伏构造断层不断活动, 梁洼地貌形态进一步发展; 另一方面引起黄土覆盖层产生震陷和液化破坏, 洼地侧的震陷和震动固结变形发展更突出, 又加剧了地裂缝发展。西安地裂缝的构造属性具有明显的地震活动性^[6] (历史上有过多次地裂活动的记载, 唐山地震后, 在区域构造应力场调整期内开始加剧)。西安是一个高烈度强震区城市, 历史上黄土高原区的 80 余次强震, 有不少黄土的地震灾害实例。例如: 1556 年陕西华县地震 (8 级) 袭击了广大的黄土地区, 位于极震区的渭南地裂缝遍地, 鼓楼下沉达 1 米多; 1718 年甘肃通渭地震 (7.5 级), 在陇西地区的马兰黄土层中形成了大量滑坡, 极震区几乎均被地震滑坡所占, 约有 665 km², 许多地方出现地裂、地陷。自 20 世纪 60 年代以来, 随着西安城市建设发展和人口规模不断增大, 因过量抽汲地下水, 成倍增大了地裂缝活动量, 造成的破坏甚重。地裂缝强烈活动地段多位于承压水位降落漏斗及地面沉降的中心区; 地裂缝有年内周期性变化规律 (3—4 月份快, 9—10 月份慢), 且与地表沉降的年周期变化基本一致, 抽水量增加的区域, 地裂活动由隐伏到明显增强。

西安地裂区的特征包括地貌形态特征、地裂缝的分布特征、地裂缝产状和地裂缝的接触特征^[7]。西安地裂缝区位于渭河南岸, 在由南向北的各级阶地上依次具有高程降低的梁洼地貌形态。地裂缝均位于黄土梁南侧与洼地的过渡带, 地貌位置相同; 地裂缝的平面分布有良好的定向性 (近似北东向) 和近似等间距性; 呈南倾、南降的正断层型活动方式。并且, 地裂缝与下伏的构造正断层相对应, 地裂缝两侧的地层错距自上而下有由新至老的生长性。按照地裂缝两侧地表沉降分布变化特征可区分为陡降型、缓变型和凹槽形三种, 实质上是断层蠕滑地裂缝、断层蠕滑及微破裂开启型地裂缝和微破裂开启型错动地裂缝的变形特征反映。地裂缝有开启变形时, 往往被冲积物填充, 地下一定埋深以下也呈闭合接触状态。

2 地裂区的灾害与机理分析

地裂缝所到之处使农田开裂漏水、堤坝水渠裂缝、道路桥涵变形、窑洞倒塌、建筑物破坏、管道破裂, 损失

之重,构成名符其实的地裂缝灾害。地裂缝灾害是随着地裂缝长度增长,活动加强而加重。

自 20 世纪 60 年代以来,据对西安地表或浅层地裂缝变形的观测,发现地裂缝有差异沉降、水平拉张、水平错动三向变形,年优势速率为沉降差 12~14 mm、拉张 4~6 mm、水平错动 1.39 mm,三者比值为 15:5:1,即沉降差最大、水平拉张次之、水平错动最小。西安地裂缝活动的影响范围可分为主变形区和微变形区,前者上盘宽度约 6 m、下盘宽度约 4 m;后者上盘宽度约 20 m、下盘宽度约 15 m。以往,跨越地裂缝的建筑物和地下管道工程等均遭到了不同程度的破坏,且破坏方式与地裂缝的运动特征密切相关。

断层蠕滑地裂缝造成的灾害具有长期的活动效应。地裂缝活动使其周围一定范围的地质体发生位移,产生形变场和应力场,这些场的变化通过地基和基础作用于建筑物。长期水准测量观测表明,位于地裂缝上的建筑物结构破坏主要由地裂缝两侧的相对沉降差作用产生。这种地裂缝的发生所导致的破坏效应,可以引起地面工程设施的结构破坏,可以造成某些地基的失稳和失效。

断层蠕滑、区域微破裂开启型地裂缝活动地层中,构造应力可以通过建筑物地基、基础和上部结构进行传递,加上建筑物上部的自重应力作用,导致建筑物拉张、剪切而破坏。水平方向的拉张和错动更加重了破坏程度。地裂缝活动使道路变形、交通不畅,使地下输排水管道错裂、供水中断、污水横溢、电缆拉断,危及生命线工程。此外,较大地裂缝事件中地裂、房裂,易使群众误认为是大震前兆而惊恐不安,甚至纷纷搭防震棚露宿,影响了社会安定和正常的工作秩序。

微破裂开启型地裂缝多是土体破裂开启拉张成缝致灾,少数是沿地裂缝渗透潜蚀成盲沟,沟顶冒落致灾或软化增荷致塌成灾。这类地裂缝上建筑物结构的破裂主要由地裂缝张开向两侧拉伸引起的,个别地裂缝经掏蚀加宽,部分建筑物自重沉降加重了破坏程度。破坏的形状多是拉伸变形呈多条斜裂缝,使建筑物开裂失稳。由于区域微破裂分布广而分散,其开启缝成为地表水渗漏甚至管涌的通道,可使土体产生渗透破坏,成为土体工程的安全隐患。

西安市地铁就建设在活动的地裂缝黄土地层中。地裂缝活动对隧道等洞室稳定性的影响主要表现在不均匀变形而引起构筑物的附加应力和附加变形;过大的变形导致衬砌结构破坏引起渗漏或沉降缝处过大位移导致防渗材料破坏而引起渗漏;洞室不均匀沉降差引起内部结构产生附加应力而可能遭到破坏,或者导致如地铁轨道不平顺而影响运行。不同类型的地裂缝对地铁隧道衬砌结构及车站地下结构的作用不同,应采取对症的主动措施和被动措施来保证地铁隧道的安全与正常运营,是一个迫切需要解决的问题。

3 地裂区岩土工程治理措施

地裂缝场地建筑物安全距离的确定以及地下线型工程的应对措施是地裂缝灾害对策研究最为关注的问题之一,针对不同成因、不同类别的地裂缝,已经建立了建筑物的安全距离的确定方法。另外,就地裂缝灾害对策,提出了许多定性的认识,如减少人为因素影响、采用建筑物防灾减灾对策等等。

3.1 “点”式建筑——时空避让法

在地裂区建筑时的特殊工程措施有时空避让法,即在空间上选址应避开裂缝(上盘避 12 m,下盘避 8 m)和在时间上避开地裂的快速蠕滑期(一般在地裂快速蠕滑以后,若连续 3a 的活动速率 $< 0.1 \sim 1 \text{ m/a}$ 则致尖作用已减弱);还有部分拆除法与适当加固法。在地裂走向与建筑物长轴接近正交时,可设沉降缝隔开;如斜切一个小角,可作整体加固;如从中间斜穿,常拆除部分,保全大部;如在边墙基下(平行长边),可采用挑梁加固;如在中间直穿,只有易地重建。此外,目前也出现了一种断裂置换法,就是在断裂上对建筑物近旁用人工方法设置一条新的断裂,使断裂沿人工断裂活化,使原断裂老化(基于费马原理,即能量最小原理)。此外,增强建筑物、管道等适应不均匀沉降的能力,对钢筋混凝土基础采用筏基、箱基及十字基础,对多层框架和多层砖房增强整体性,简化体形,设现浇混凝土圈梁和门室洞口的钢筋混凝土过梁,对单层工业厂房采用铰接排架体系和轻型屋盖,对各类管道明装,跨越地裂时用柔性接口,对贮水和大量用水的建筑(如印染、化工、浴池、水池等)远离地裂布置以及采用排水放水措施,不使水渗入或不排向地裂缝,不采用振动桩等水量较大的方法处理地基以免加剧地裂等,都是在地裂区应该注意的措施。

3.2 “线型”地下工程——主动适应变形法

对于管道工程,无法避开现有的地裂缝。由于长期的地裂缝运动,地裂缝管道两侧错台加大,跨越地裂缝的旧排水管道许多已被损坏。开挖改造旧排水管的方案采用柔性管材和柔性管道接口,并配合以加强的

砂基础。对于在距地裂缝上盘 12 m, 下盘 8 m 范围以外的排水管道, 选用聚乙烯双臂波纹管 (PE) 或玻璃钢夹砂管 (PVC)、双波纹塑料螺旋管等可变形较大的管材。这些管材接口选用双密封圈, 由于这些管材的密封圈接口允许变形量大, 所以为了保证有充分的变形预留, 选用每根管的管长尽可能短一些。这些新型可变形柔性管材是目前经验证最适宜用于断裂缝处的管材, 它们不但可允许变形量大, 而且采用双密封圈接口还可有一定的伸缩量, 这样不仅能适应垂直变形, 还可适应地裂缝的水平张裂和扭动。为了避免柔性管道受到刚性挤压, 减小变形量, 要将管材安放于充满中、粗砂的沟槽中, 并在沟两侧砌墙, 沟顶加盖板。这样就充分保证了柔性管材的自由变形受外界影响较小。而且一旦沟底由于地裂缝的作用发生开裂, 沟内的砂还可灌入裂缝, 避免出现空洞。在改造地裂缝处排水管时尽可能要在距地裂缝最近的检查井设置跌水, 跌水也要设置的大一些, 为以后地裂缝处的排水管再次改造创造条件, 避免产生倒坡。在改造地裂缝处排水管时, 还应将检查井尽可能的移出地裂缝的破坏范围。这是目前西安市地下管道建设应对地裂缝的措施, 它的基本出发点是主动适应地裂缝的发展, 改善管道自身的刚度, 这对西安地铁的建设有重要的参考价值。

3.3 地裂区地铁隧道的工程治理措施

地铁隧道穿越地裂缝时, 其长期活动必然给沿线地铁隧道带来危害。由于地裂缝的存在一方面改变了地铁隧道的边界条件 (应力边界条件、位移边界条件和渗流边界条件), 另一方面地裂缝的产期活动 (地裂缝上盘垂直位移、平面拉伸和侧向扭转) 发展条件下衬砌结构将产生多大的附加应力和附加变形。在这种附加应力和附加变形条件下需要考虑衬砌结构能否安全地抵抗外来荷载, 即衬砌结构的可靠性能否得到保证。与此同时, 地裂缝引起的地层错动也给隧道防水措施和长期监测以便保证隧道内地铁安全运行带来了巨大挑战。地裂缝错动不仅引起隧道衬砌可能产生较大的变形, 而且可能在隧道沉降缝处产生较大的相对位移, 现有的防渗措施已远不能满足大位移条件下不被破坏的要求。由于地裂缝两侧土体的相对错动可能引起衬砌结构和防渗设施破坏, 发展长期监测技术, 对于了解运行过程隧道的位移、变形和附加荷载的变化, 判断工程的运行状态具有特殊重要性。由此可见, 地铁隧道穿越地裂缝地层时, 一是需要加强衬砌结构, 保证衬砌结构在围岩土体相对大位移错动条件下结构的安全性; 二是需要采取特殊地隧道防渗措施, 保证隧道变形缝大位移相对错动条件下防渗的安全性; 三是需要设置隧道围岩作用和不均匀沉降长期的监测设施, 以便了解隧道衬砌结构运行的安全性以及及时调整穿越地裂缝轨道路基的高程, 保证地铁运行畅通。

3.4 西安地铁工程实例分析

根据西安市地裂缝活动现状的调查分析, 西安市地铁关于地裂缝活动的设计标准是: 100a 基准期内, 地铁隧道洞顶高程处地裂缝的竖直向错动位移为 500 mm, 张拉位移为 165 mm, 水平错动位移 165 mm。地裂缝倾角在 60~ 80° 之间。针对如此大的地裂缝错动位移条件, 目前地铁设计的基本原则是主动适应地裂缝变形, 由此, 提出了如下结构与防渗措施:

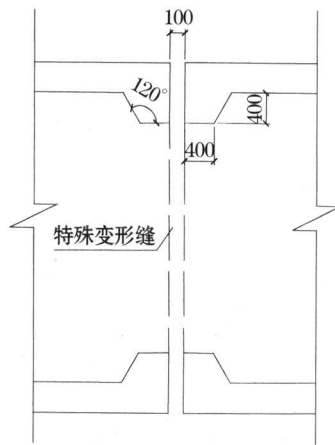


图 1 衬砌结构端部

Fig. 1 The end of tunnel lining

(1) 在穿越地裂缝的隧道段区间段, 地裂缝位置处预设沉降缝, 缩小隧道变形缝的设置间距, 增大洞径。前者的目的是通过缩短衬砌结构段, 提高其整体刚度, 适应不均匀沉降变形, 减小地裂缝错动引起的衬砌结构内力, 但是地裂缝位置处变形缝两侧隧道的相对位移大; 后者的目的是为了满足不同衬砌结构在较大相对错动

位移条件下具有足够的空间,满足路基结构调整和列车运行。具体地,每节衬砌结构长度调整为 10 m 或 15 m,洞径扩大 1 m,衬砌结构端部沿纵向 1 m 范围内等大厚度约 50 cm,使隧道衬砌结构两端呈“L”型结构形式,以便保证变形缝两侧错动大位移条件下端部的连接和密封,同时可便于端部缝隙内采用特殊的防渗设施。提高混凝土的标号为 C40 添加钢纤维提高钢筋混凝土的韧性。

(2)地裂缝处的变形缝能够最大限度适应两侧土体的相对位移,但是变形缝两侧衬砌结构显著的错动位移给地下水防渗带来了困难。西安地铁设计仍然遵循地铁工程规范规定的防水应“以防为主,刚柔结合,多道设防,因地制宜,综合治理”的原则。同时,由于地裂缝活动位移较大、机理复杂,地铁与其相交地段在运营期间可能发生一些变形和破坏,所以在开始结构设计时,就必须考虑到今后的维修问题。在地下开挖施工中,初喷混凝土在地裂缝活动条件下必然失去自身的防水作用,大量自由水沿破裂面汇聚在变形缝处,因此,设置于二次衬砌沉降缝处的防水措施将承担较大的防水压力,一旦失效,可能会导致大量的自由水流出,致使交通中断。本着安全、可靠、经济的原则,二次衬砌变形缝处的防水措施不仅要具有较强的变形能力和防水能力,而且要有一定的安全储备和可修的条件。

初步设计变形缝的防渗包括“V”型特型橡胶止水带,GINA 橡胶止水条,注浆密封及“Ω”型止水带等,其中“V”型特型橡胶止水带能够适应衬砌结构端部的大位移错动变形;GINA 橡胶止水条预压安装,并与 PE 板紧密接触,当变形缝有伸展变形时可以回弹变形;两道 GINA 橡胶止水条中间通过注浆管试图多次注浆密封变形缝;“Ω”型止水带主要用于截流渗水,并将其引排出隧道。尽管这种方案采取了多道防渗措施,在有限伸展变形条件下能够满足防水的要求,但是,如果有较大伸展变形时 GINA 橡胶止水条就可能失效,多次注浆的效果难以保证,“Ω”型止水带需要不断更换。

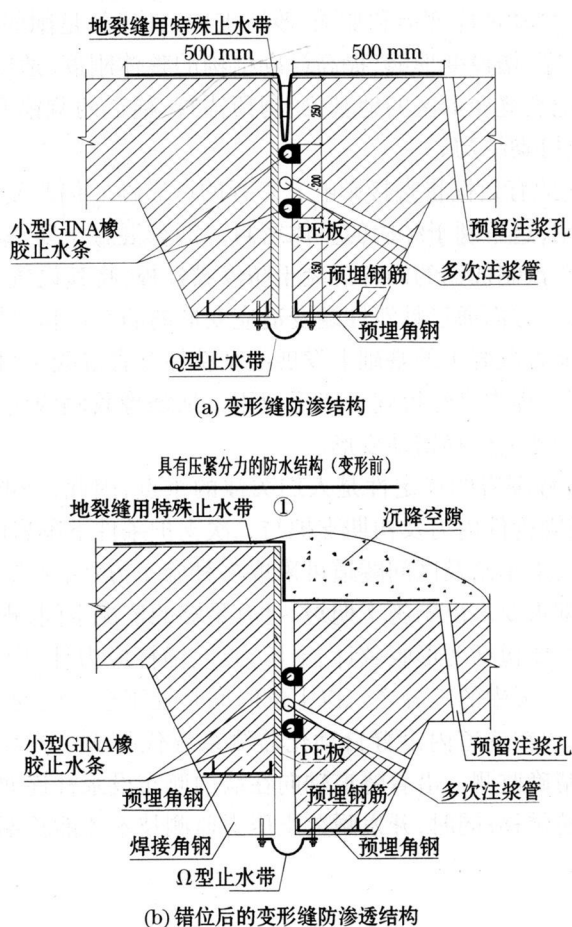


图 2 变形缝防渗结构

Fig. 2 The anti-seepage construction of deformation joints

由于目前的设计原则是主动适应地裂缝活动,因此,发展隧道运行过程长期的不均匀沉降和衬砌结构与围岩相互作用的监测技术具有非常重要的实际意义。

4 隧道穿越地裂缝的工程措施思考

地铁隧道穿越地裂缝的工程应在正确掌握地裂缝的发展变化规律和变形分布特征, 保证衬砌结构安全, 便于维持地铁正常运行的基础上合理设计。

(1) 根据西安地裂缝场地地面变形及地下管道破坏和错动位移测量分析, 地裂缝的主变形区跨度约 10 m, 主变形区和微变形区的整个跨度范围约 35 m, 地面以下随着埋深增大, 它们的跨越范围逐渐减小。依据地质调查和数值模拟分析, 埋深 15 m 时, 主、微变形区的跨度约减小 1/3。相应的主变形区跨度约为 7 m, 微变形区的跨度约为 23 m。并且, 目前关于地铁隧道的地裂缝的变形设计标准主要是依据地面变形和埋深较小的各类管道的错动位移确定的, 主要反映了地裂缝附近表层土体的变形特征, 是否与地铁隧道埋设深度处地裂缝的变形特征一致还没有实测结果或研究分析论证。

(2) 目前关于主动适应地裂缝活动的衬砌结构设计原则尽管可以减小衬砌结构的附加应力, 保证单节衬砌结构体的强度稳定性, 但是变形缝两个不同衬砌结构段的显著相对位移, 一方面为保证地铁轨道顺畅运行提高了路床结构调整的幅度和难度, 另一方面也给变形缝的防渗带来了困难。那么, 发展“局部调整地裂缝变形, 兼顾主动适应变形和加强、改善支护结构。”的设计思想, 既不夸大地裂缝变形范围和破坏效果, 还能够发挥现代岩土工程技术的作用, 减小变形缝两侧衬砌结构的相对位移, 从而也能够降低路床结构调整和衬砌结构防渗的难度。所谓“局部调整地裂缝变形”就是在减小隧道穿越地裂缝的局部范围采取可行结构措施, 减小地裂缝两侧洞底、洞顶土体的相对位移变形, 从而削弱围岩土体应地裂缝活动对衬砌结构的附加位移和荷载作用。所谓“兼顾主动适应变形和加强、改造支护结构”就是削弱隧道穿越局部地段错动位移条件下, 减小每节衬砌结构的长度, 增设变形缝, 提高衬砌结构的整体刚度, 适应地裂缝活动可能产生的变形。前者采取的措施可以是跨越地裂缝变形区的地基梁、洞顶锚管、隧道两侧锚洞等结构措施; 后者仍然是小间距高强度、钢纤维钢筋混凝土衬砌结构。

(3) 地铁隧道的防渗措施的有效性将直接影响着工程的可靠性。但其复杂的结构形式易遭到相对大位移运动的破坏或失去防渗作用, 这不利于结构的整体密封。沥青混凝土防渗材料, 属黏弹性材料, 它具有良好的抗渗性、耐久性和柔性等, 预制加筋的沥青混凝土防渗柔性板, 将其设置于衬砌结构外侧(明挖法)或变形缝处初衬与二衬结构中间, 一方面通过粘滞性蠕变适应变形缝的大位移, 另一方面采用双电极热熔技术愈合可能出现的防渗缺陷。在沥青混凝土的基础上发展的粘粘性沥青混凝土材料, 匹配热熔技术, 也可以保证缝隙的有效密封, 它们在水利工程中已经得到了广泛应用。加筋橡胶隔膜耐压能力强, 易在缝内折叠安装, 能够充分适应衬砌结构沉降缝处大位移错动变形。

(4) 由于隧道工程建设过程围岩的稳定性是人们关注的重点, 因此, 一般只在建设期监测围岩的变形、初期支护结构内力与变形、锚固构件内力及初期支护与二次支护条件下围岩的压力, 以便指导安全施工及检验设计方案。现有的地铁建设中车站及区间隧道可采取多种施工方法, 主要包括明挖法、新奥法及盾构法。前两种方法施工期的监测非常重要。由于施工期短, 且有足够的监测空间, 现有的监测设施和方法能够满足监测期的要求。监测传感器主要包括变形收敛计、土压力计、锚杆应力计、应变计以及信号读数器等。地铁运行过程中, 由于地铁隧道在一天中的三分之二以上的时间是处于全封闭的运营状态, 绝对不允许监测人员进入隧道内工作, 所以要求必须在隧道内设置自动化监测系统代替人工操作, 实现地裂缝活动诱发隧道位移、变形及围岩压力的连续、精确监测。沿着隧道轴向在墙内侧布设汞柱连通管可以有效反映轴线上的不均匀沉降变化及围绕轴线的旋转位移; 同时, 开发耐久土压力监测技术才能长期监测围岩压力变化。

5 结 论

(1) 构造运动、自然营力作用和人类工程活动均会使覆盖层产生地裂缝, 地裂缝具有一定的分布、产状和运动特征。地裂缝的活动发展对地基基础、上部结构和地下结构构成了不同程度的破坏。基础与上部结构或地下结构的破坏机理与地裂缝运动有密切联系。

(2) 地裂缝活动引起地基土层应力场和位移场变化, 从而使得地基、基础与上部结构及地基与地下结构附加相互作用, 应力集中导致结构产生强度破坏; 地裂缝活动还会引起渗流通道, 从而使地基基础产生渗透

破坏。

(3)在查明地裂缝位置、产状的基础上,对于“点”式建筑一般采取避让法,也可以通过加强基础、上部结构的“悬挑”工程措施来保证结构的稳定性;对于“线型”工程一般采取主动适应相对位移的沉降缝、防渗措施及结构调整措施来保证结构的稳定性。

(4)提出了“局部调整地裂缝变形,兼顾主动适应变形和加强、改造支护结构。”的设计思想。通过跨越地裂缝变形区的地基梁、洞顶锚管、隧道两侧锚洞等结构措施可有效减小围岩压力,同时减小相邻两节隧道段的相对位移。沿隧道轴线增设变形缝可适应地裂缝的变形,避免衬砌结构附加应力过大。采用加筋折叠橡胶隔膜及粘粘性沥青混凝土等防渗技术可保证变形缝的防渗要求。

(5)地裂缝的持续活动造成“线型”工程地下结构长期变形,需要有耐久的长期监测来保证工程设施的安全运行。沿着隧道轴线平行的汞柱连通管液柱高度变化可以有效反映轴向上的不均匀沉降变化及围绕轴线的旋转位移;同时,开发长期有效耐久土压力监测技术可以长期监测围岩压力变化。这些测试技术对地铁隧道工程具有重要的意义。

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 (Zhang Jiaming Research on Xi'an ground fractures[M]. Xi'an Northwest University Press, 1990)
- [2] 吴嘉毅, 廖燕鸿. 西安地裂缝的工程性质 [M]. 西安: 陕西科技出版社, 1990. (Wu Jiayi Liao Yanhong Research on engineering geological characters of Xi'an ground fissures[M]. Xi'an Shaanxi Science and Technology Press, 1990)
- [3] 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). (YIXuefa Research on the asymmetry ground substance and the cause of ground fissure in Xi'an[J]. Earthquake, 1984 (6).)
- [4] 刘国昌. 西安地裂缝 [J]. 西安地质学院学报, 1986(4). (Liu Guochang The Ground Fissures in Xi'an, Shaanxi[J]. Journal of Chang'an University Earth Science Edition, 1986(4).)
- [5] 段光贤, 刚亮. 西安地裂缝形成机制的探讨 [J]. 上海地质, 1986(3): 27-31 (Heng Guangxian The Genetic Mechanism of The Surface Crack Belt in Xi'an[J]. Shaanxi Province Shanghai Geology, 1986(3): 27-31)
- [6] 陈红旗, 黄润秋, 彭建兵. 与地震相关的西安地裂事件的全过程研究 [J]. 工程地质学报, 2003 11(4). (Chen Hongqi Huang Runqiu, Peng Jianbing Study on the whole process of Xi'an ground fissure related with earthquake[J]. Journal of Engineering Geology, 2003, 11(4).)
- [7] 李永善. 西安地裂缝 [M]. 北京: 地震出版社, 1986. (Li Yongshan. The Ground Fissures in Xi'an, Shaanxi[M]. Beijing Seismological Press, 1986)