

地裂缝区沉降引起轨道几何形位变化的监测和对策

刘建利¹ 周海斌²

(1. 西安市轨道交通集团有限公司, 710018, 西安;

2. 北京市轨道交通运营管理有限公司, 100076, 北京 // 第一作者, 高级工程师)

摘要 对地裂缝地段的隧道结构、轨道几何形位进行长期监测, 分析隧道沉降和几何不平顺在列车荷载长期作用下的特征和发展规律, 针对地裂缝地段隧道沉降和轨道几何不平顺提出可调式无砟轨道、有砟轨道和接触网调整方案, 验证了应对措施的有效性。研究发现: 对隧道结构沉降、收敛以及轨道几何不平顺进行高精度的监测, 能有效掌握地裂缝地段轨道结构恶化的情况; 通过对沉降数据和轨道几何不平顺数据进行对比, 可以充分掌握沉降发展规律; 利用可调式无砟道床等强化措施对不均匀的结构沉降进行调整, 保证地裂缝地段轨道几何状态良好。

关键词 城市轨道交通; 地裂缝; 沉降; 轨道几何形位

中图分类号 U216.3; U213.2+13

DOI:10.16037/j.1007-869x.2020.09.010

Monitoring and Countermeasures of Track Geometry Deterioration Caused by Tunnel Settlement in Ground Fissure Area

LIU Jianli, ZHOU Haibin

Abstract Based on long-term monitoring on tunnel structure and track geometry in ground fissure area, the characteristics and developing pattern of the tunnel settlement and track geometry irregularity under train load are analyzed, corresponding countermeasures of adjustable ballastless track, ballast track and catenary adjustment scheme targeting at tunnel problems are proposed, and their effectiveness are verified. The research results show that the high-accuracy monitoring of tunnel structure settlement, convergence and track geometry irregularity contributes to effective control of the deterioration status of track structure in ground fissure area. By comparing the data of settlement and that of track geometry irregularity, the developing pattern of the tunnel settlement can be comprehensively grasped. By adopting enhancing countermeasures such as the adjustable ballastless track to balance the uneven structure settlement, the track geometry in ground fissure area can be preserved in good condition.

Key words urban rail transit; ground fissure; settlement; track geometry

First-author's address Xi'an Rail Transit Group Co., Ltd., 710018, Xi'an, China

跨越地裂缝(带)的城市轨道交通线路在列车荷载反复作用下,会引起线路基础结构(如隧道、桥梁等)的沉降及错位变形,进而引起轨道几何的不平顺,恶化列车运行舒适性和平稳性,增加运行时的振动和噪声,进而影响乘客的舒适度,此问题已经引起同行业的广泛关注^[1]。西安地裂缝的形成是以隐伏断裂构造的发育为基础,过量开采地下水为诱因,两者共同作用的结果。根据既有资料及现场调查,仅西安地铁3号线一期工程就经过8条地裂缝(带),合计15次横穿这些地裂缝(带)。已有学者从勘察、理论和仿真分析、措施设计、施工及其监测等方面,对现有地裂缝对城市轨道交通基础结构的影响进行了研究。文献[2-3]用人工地震勘探与钻探方法查找地裂缝,为地铁设计提供设防资料;文献[4-6]分别采用小比例物理模型,研究了地裂缝对列车荷载作用和振动情况下,以及隧道—地层—地裂缝动力响应和振动传播规律、隧道应变的变化规律和围岩附加动土压力的影响特征。目前,地裂缝在列车荷载长期作用下对隧道沉降、轨道几何形位的影响和变化趋势方面的研究较少,而轨道交通基础结构的长期变化对列车运营的影响更为显著。

本文在对地裂缝地段的隧道结构和轨道几何形位长期监测的基础上,分析隧道沉降、几何不平顺在列车荷载长期作用下的特征和发展规律,提出控制沉降的措施和方案,并进行现场应用,为地裂缝地段的城市轨道交通基础结构沉降控制提供了参考。

1 地裂缝的成因及危害

地裂缝是地面裂缝的简称,是地表岩层、土体

在自然因素(地壳活动、水的作用等)或人为因素(抽水、灌溉、开挖等)作用下产生开裂,并在地面形成一定长度和宽度裂缝的一种宏观地表破坏现象。它是一种国内少见且特殊的地区性地质灾害。

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,使弱透水层(黏土层)压缩而改变土层中的应力状态所引起的。由于地裂缝对建筑物的破坏具有

三维破坏特征,以垂直差异沉降和水平拉张破坏为主,兼有走向上的扭动,因此,它是建筑物不可抗拒破坏的重要因素。

地裂缝给地下工程施工造成多种不利影响,如地裂缝变形带的土体裂隙多,施工时可能会造成基坑坑壁或隧道局部坍塌,还可能出现沿裂缝带的集中渗水现象,基底出现不均匀沉降,直接影响地铁线路的运营安全,如图1所示。



a) 道床有明显的开裂 b) 框架板道床有明显的错台 c) 现场采取道床加高处理

图1 地裂缝的危害及处理

2 轨道交通基础结构沉降监测方法

基于地裂缝在列车荷载长期作用下对隧道结构影响的研究,本文对地裂缝地段的隧道结构沉降、轨道几何形位进行跟踪监测。

地裂缝地段的隧道结构沉降监测引入高速铁路CPⅢ精确测量网技术,监测参数包括结构净空收敛、拱顶沉降、道床沉降、地表沉降测量,其中此次选取结构净空收敛测点1 624个,拱顶沉降测点812个,道床沉降测点1 624个,地表沉降测点1 495个,基准点20个,共计测点5 899个。

2.1 基准网

在地裂缝影响的线路区间里,两车站之间布设8个基点,通过二等水准与地铁车站出入口附近的城市水准点或地铁深桩水准点进行联测。在地铁隧道内按上、下行线分别布设一条二等水准线路,通过车站间的工作点形成区段附合二等水准线路。测量精度按国家二等水准测量精度要求进行控制。

2.2 道床沉降测量

在预定里程位置的道床埋设基准测点。测量时,从一个车站的基准点出发,经其中1个隧道的沉降测量点,附合至第二个车站的基准点;再从第二个车站出发,经另一隧道沉降测量点,闭合至第一个车站的基准点,构成闭合水准路线,如图2所示。

地下水准测量按Ⅱ等水准测量规范进行观测。常规情况下,每季度进行一次沉降测量,特殊情况进行加密观测。



图2 道床沉降测点

观测点的精度应满足表1要求。

表1 沉降测量网主要技术指标

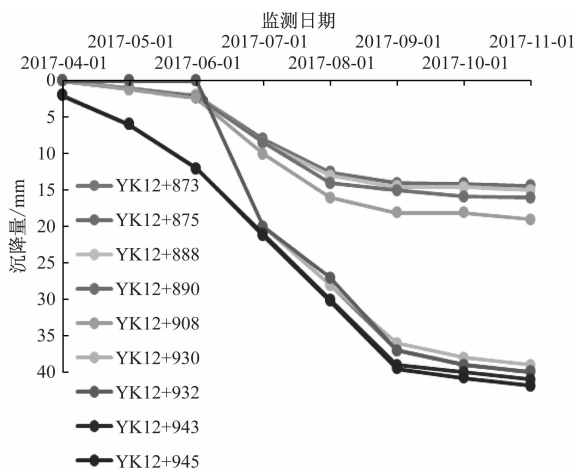
序号	项目	限差
1	高程中误差/mm	±0.5
2	相邻点高差中误差/mm	±0.3
3	基辅分划读数差/mm	±0.3
4	往返较差及附合或环线闭合差/mm	±0.3√n(n为测站数)
5	视线长度/m	<30
6	前后视距差/m	±0.5
7	前后视距累计差/m	±1.5
8	视线高度/m	>0.3

3 监测数据及分析

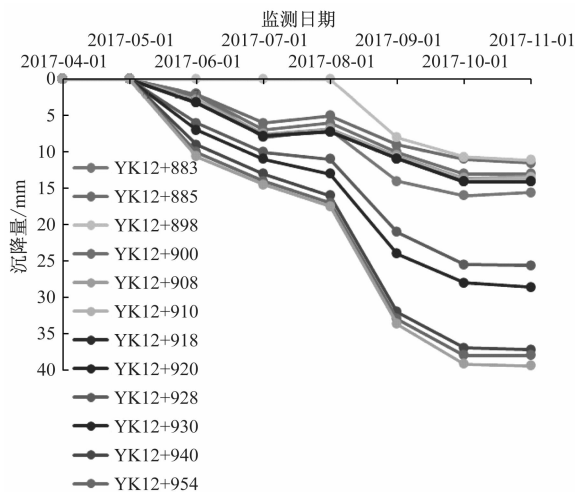
3.1 道床沉降

2017年4—10月期间,对处于地裂缝带的某区

间线路共进行了 9 次道床沉降的监测,发现该地段的道床发生下沉情况。其中右线道床沉降累计最大值约 41.84 mm,左线道床沉降累计最大值约 39.41 mm,如图 3 所示。



a) 右线道床沉降



b) 左线道床沉降

图 3 地裂缝设防地段道床沉降变化

监测至该年度 11 月,发现该地段的沉降速率分别达到 0.3 mm/d 和 0.19 mm/d。截至 2018 年 2 月 23 日,共监测目标区间道床沉降 27 次,发现该地裂缝段左线道床沉降累计为 46.70 mm,右线沉降累计最大 47.01 mm。

从图 3 的监测数据可知,该地裂缝处的隧道结构主要变化在道床板的下沉,且沉降明显处均位于地裂缝的上盘位置,并在某里程处道床有明显的断裂错台。根据数据分析,与《西安地裂缝场地勘察与工程设计规程》中地裂缝的上盘下降、下盘相对上升的变化规律基本一致。因此,判断是因为地裂

缝的沉降导致道床下沉。

3.2 轨道几何不平顺

对地裂缝地段的轨道几何不平顺进行静态测量,其中高低不平顺如图 4 所示。

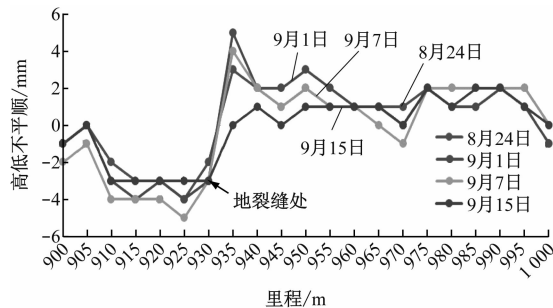


图 4 地裂缝地段高低不平顺变化情况

从图 4 可以看出,该线路在地裂缝地段的高低不平顺明显发生恶化,最大高低不平顺约为 -5.2 mm,高低不平顺的最大发展率为 0.085 mm/d。同时,通过其他几何不平顺测量发现,地裂缝沉降区段线路轨距、水平、高低、轨向几何尺寸无明显变化,轨距顺坡良好,质量在可控范围,未超经常保养标准许偏差管理值,暂不影响行车安全。进一步分析该地段的道床沉降趋势,如图 5 所示。

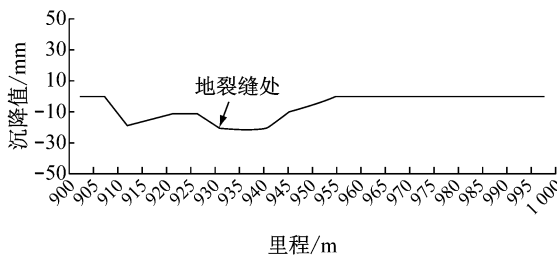


图 5 地裂缝沉降区段的道床沉降情况

从图 5 可知,地裂缝沉降区段线路累计沉降峰值 24 mm,道床沉降趋势基本与高低不平顺的恶化趋势一致。针对该区域,轨道专业人员可以采用更换加厚铁垫板、调高垫板等措施进行调整,同时也兼顾线路的高低不平顺进行顺坡。

4 措施

根据上述道床沉降和轨道几何形位变化趋势,本文从轨道角度提出了不同程度沉降时的应对措施。

4.1 轨道设计方案

沉降较大(沉降量 > 500 mm)的线路采用减振垫加碎石道床形式,如图 6 所示;沉降较小的线路

(沉降量 ≤ 500 mm)采用框架板整体道床加可调式 框架板专用的大调量扣件方案,如图 7 所示。

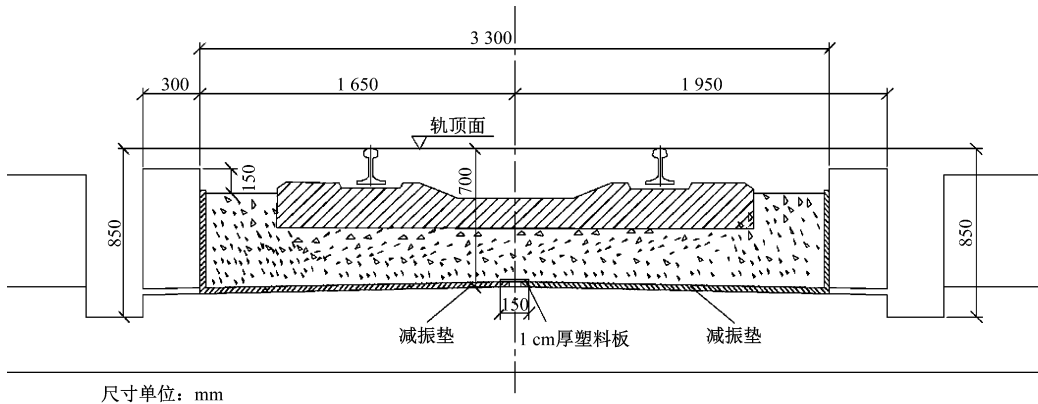


图 6 沉降较大地段的减振垫碎石道床方案

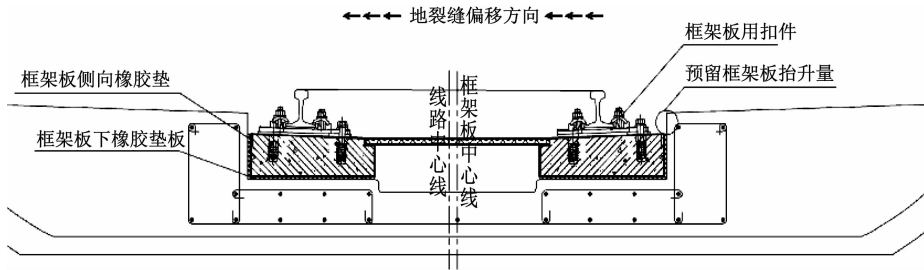


图 7 沉降较小的地段采用框架板道床加可调式框架板道床

4.2 接触网设计方案

地裂缝处接触网悬挂采用可双向(垂直方向和水平方向)调整的增高断面悬挂安装形式,设计中可根据地裂缝处结构预留调整量和轨道调整量进行接触网导线高度和拉出值的调整,最大可调整 500 mm。

4.3 调高方案

4.3.1 碎石道床沉降调高方案

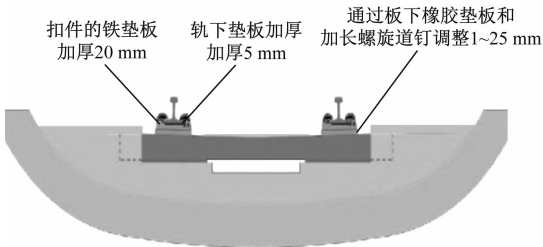
碎石道床沉降调高方案主要采用捣垫结合的作业方式。

4.3.2 框架板整体道床调高方案

按沉降量不同,框架板整体道床有两种调高

方案。

1) 沉降量 < 50 mm 的扣件调高方案。当沉降量 ≥ 1 mm 并 < 30 mm 时,通过在扣件铁垫板下增加调高垫板、相应加长螺旋道钉的方案调整;当沉降量 ≥ 30 mm 并 < 40 mm 时,通过使用加厚铁垫板的方式和在扣件铁垫板下增加板下调高垫板(同时加长螺旋道钉)的方案调整;当沉降量为 ≥ 40 mm 并 < 50 mm 时,通过使用加厚铁垫板的方式 + 在扣件铁垫板下增加板下调高(同时加长螺旋道钉) + 在钢轨下增加轨下调高垫板的方案调整,如图 8 所示。



a) 加厚铁垫板 + 板下调高 + 轨下调高垫板



b) 框架板下预粘接的标准橡胶调整块(沉降量 $40 \leq x < 50$ m)

图 8 沉降量 $x < 50$ mm 的扣件调高方案

2) 沉降量 ≥ 50 mm 的扣件和板下调高方案。当沉降超过 50 mm 时,通过框架板下橡胶调高垫板调整;当沉降超过 100 mm 时,通过框架板下混凝土调高块调整,具体如表 2 所示。

表 2 沉降量 ≥ 50 mm 的调高方案

工况	沉降量/ mm	方案组合		
		沉降量 < 50 mm 的调整方案	橡胶调整块 数量/个	混凝土调高块 数量/个
1	$50 \leq \cdot < 100$	√	1	
2	$100 \leq \cdot < 150$	√		1
3	$150 \leq \cdot < 200$	√	1	1
4	$200 \leq \cdot < 250$	√		2
5	$250 \leq \cdot < 300$	√	1	2
6	$300 \leq \cdot < 350$	√		3
7	$350 \leq \cdot < 400$	√	1	3
8	$400 \leq \cdot < 450$	√		4
9	$450 \leq \cdot < 500$	√	1	4
10	500			5

注:“√”表示采用该方案

3) 水平调整方案。隧道结构的水平移动导致道床的中心线也产生水平移动,道床的水平移动主要通过扣件的锯齿调整和垫板掉头调整,如图 9 所示。

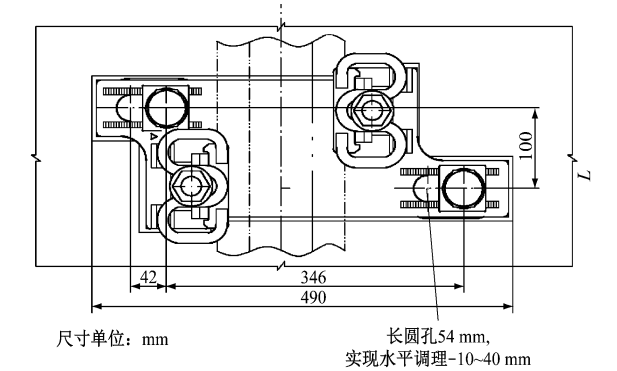


图 9 轨道(钢轨)水平调整方案

整改后图 2 所示的观测区段显示,轨道高低不平顺变化值为 4 mm,未超出轨道经常保养管理容许偏差值。

5 结论

通过对地裂缝地段的城市轨道交通隧道结构沉降监测以及轨道几何不平顺测量,掌握了结构沉降和几何形位的恶化规律,有针对性地设计了可调式无砟轨道、有砟轨道和接触网调整方案,通过演练,验证了应对措施的有效性,结论如下:

1) 通过高精度的隧道结构沉降、收敛以及轨道几何不平顺监测,有效地掌握了地裂缝地段轨道结构的沉降情况和轨道几何形位变化规律。

2) 对沉降及病害区段每月测量 1 次,其他区段每半年测量 1 次,并对沉降数据和轨道几何不平顺数据进行对比,从而掌握沉降发展规律,进而有针对性地加强对轨道设备的维护和保养。

3) 可调式无砟轨道可以对 50 ~ 500 mm 的沉降情况,通过采用不同的调高垫板来更好地控制轨道的几何形位,保证地裂缝地段线路状态良好,从而确保地铁隧道内的行车安全。

参考文献

[1] 刘建利. 钢弹簧浮置板的现有不足分析及优化建议[J]. 都市快轨交通,2014(6):97.

[2] 李忠生,高虎艳,宋彦辉,等. 西安地铁四号线沿线长安地裂缝研究[J]. 土工工程学报,2013,46(8):98.

[3] 李忠生,宋彦辉,高虎艳,等. 西安地铁工程中的地裂缝地质问题[J]. 长安大学学报,2014,34(7):98.

[4] 蔡琳祥. 地铁动荷载作用下与地裂缝小角度斜交隧道围岩动力响应研究[D]. 西安:长安大学,2015.

[5] 李亚兰,门玉明,蔡林祥. 地裂缝场地下地铁振动荷载传播特性试验研究[J]. 东南大学学报,2016,46(11):225.

[6] 许晨,袁立群,门玉明,等. 地裂缝对地铁隧道围岩附加动土压力影响特征研究[J]. 灾害学,2018,33(4):18.

[7] 张碧文. 地铁隧道穿越地裂缝引起的地表沉降规律及控制技术[D]. 西安:西安科技大学,2017.

[8] 张亚平,陈磐超,周华龙,等. 基于西安地裂缝轨道框架板的方案研究[J]. 山西建筑,2018(13):141.

[9] 郑选荣. 地铁隧道穿越地裂缝的变形控制措施及其效果分析[J]. 城市轨道交通研究,2014(4):58.

[10] 庞旭卿,严静平. 西安地铁隧道结构安全监测方法研究[J]. 低温建筑技术,2015(7):138.

(收稿日期:2019-11-04)