

Research and Application of Implementation Plan for Automatic Deformation Monitoring of High-Speed Railway

Lifeng Wang

Pass Number (Zhengzhou) Electrification Bureau Co., Ltd., Zhengzhou, Henan, 450000, China

Abstract

The newly-built road adopts the form of a rotating bridge to cross the existing high-speed railway. The bridge foundation is close to the railway. Foundation pit excavation and construction of structures will cause certain deformation of the high-speed railway subgrade and line and affect the safety of railway traffic. This time automatic monitoring equipment is used to monitor the settlement and horizontal deformation of the high-speed railway. The solar panel provides power supply outside the grid, and personnel do not need to go to the road to measure, it not only ensures the accuracy, but also ensures the safety of the surveying personnel, and reduces the burden on existing railways.

Keywords

automatic monitoring system; settlement sensor; liquid storage tank installation; solar panel; monitoring frequency

高速铁路自动化变形监测实施方案研究与应用

王立峰

通号(郑州)电气化局有限公司, 中国·河南 郑州 450000

摘要

新建道路采用转体桥梁形式跨越既有高速铁路,桥梁基础距离铁路较近,基坑开挖、构筑物施工等会对高速铁路路基、线路产生一定变形,影响铁路行车安全。本次采用自动化监测类设备对高铁的沉降及水平变形进行监测,太阳能电池板网外供电,人员无需上道测量,既确保了精度,也保证了测量人员安全,同时也减少对既有铁路的二次干扰。

关键词

自动化监测系统;沉降传感器;储液罐安装;太阳能板;监测频次

1 项目背景

国道 234 线郑州境国道 310 以南段(荥阳乔楼至崔庙段)改建工程上跨郑西高铁建设地点为郑州荥阳市,起点里程 K18+110.973,终点里程 K18+618.373,桥梁全长 507.4m。重点控制工程为 2×75mT 型钢构预应力混凝土转体桥(上跨郑西高铁)。

左幅桥墩基坑边缘与铁路下行线封闭网之间的最小距离为 5.26m,与铁路下行线路堑坡顶之间的最小距离为 12.27m,与铁路下行线中心的最小距离为 24.02m。右幅桥墩基坑边缘与铁路上行线封闭网之间的最小距离为 4.68m,与铁路上行线路堑坡顶之间的最小距离为 11.41m,与铁路上行

线中心的最小距离为 21.82m。

为保证转体桥施工全过程对徐兰高铁变形的影响可靠,采用变形自动化监测系统对徐兰高铁进行变形监测。

2 监测主要设备及与既有线关系

变形监测系统设备主要分为两类。第一类为沉降变形自动化监测类设备,第二类为水平变形监测类设备。

2.1 沉降变形自动化监测类设备

主要包括传感器、通液连接设备、供电设备和通信传输设备。

(1) 传感器(60支):硅压阻式静力水准仪,外包保护罩后,通过后扩底锚栓直接固定在距离轨道板底座 1.7m 外的封闭层上。

(2) 储液罐(8台):为测量元件提供液体压力。通过

【作者简介】王立峰(1968-),男,中国河南禹州人,本科学历,高级工程师,从事铁路工程施工研究。

后扩底锚栓直接固定在距离轨道板底座 1.7m 外的封闭层上。

(3) 通液连接设备 (500m)：为通液管及通气管，外包保温棉和橡胶套管，通过卡子和螺栓固定在距离轨道板 1.7m 外的封闭层上。

(4) 供电设备 (8 块)：设备采用太阳能方式供电。太阳能电池板固定在防护栅栏外。

(5) 通信传输设备 (8 台)：采用 4G 网络方式通信，信号传输模块安装在防护栅栏外的设备箱内。

2.2 水平变形监测类设备

采用自动化全站仪进行监测，主要设备包括自动化全站仪、棱镜、供电设备和传输设备。

(1) 自动化全站仪 (2 台)：采用天宝 S9 型全站仪，安装位置位于排水沟与电缆槽之间的浆砌片石斜坡上，距离轨道板底座 2.4m。

(2) 棱镜 (46 支)：采用天宝 trimbleprism-25 型棱镜。棱镜安装在距离轨道板底座边缘 0.1~1.7m 范围内的路基封闭层上。

(3) 供电设备 (4 块)：设备采用太阳能方式供电。太阳能电池板固定在防护栅栏外。

(4) 通信设备 (2 台)：采用 4G 网络方式通信，信号传输模块安装在防护栅栏外的设备箱内，如图 1 所示。

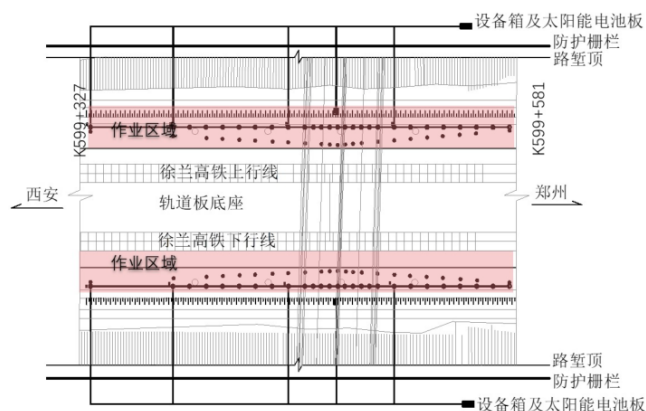


图 1 监测设备安装平面示意图

3 沉降变形自动化监测系统设备安装

3.1 沉降传感器

本项目采用精度高，灵敏度高，线性度好的压力传感器，共 60 支，每侧 30 支。采用的压力传感器是利用硅的压阻效应制成的，其核心部分是一块沿某晶向切割的 N 型的圆形硅膜片，在膜片上利用集成电路工艺方法扩散上四个阻值相等

的 P 型电阻，用导线将其构成平衡电桥。膜片的四周用圆硅环（硅杯）固定，其下部是与被测系统相连的高压腔，上部一般可与大气连通。在被测压力 P 作用下，膜片产生应力和应变，相应的集成电阻也随之变化，通过平衡电桥转化为电压变化信号后，测量电压变化值即可间接测量得到液位变化值，如图 2 所示。



图 2 自动化监测元器件

3.2 通液管及通气管

测点之间采用通气及通液管连接。通液及通气管采用内径 8mm，壁厚 1mm 的 PA 尼龙管，具备较高的强度和耐久性，可以保证监测期间液体不会渗漏和挥发。通液管及通气管采用保温棉包裹后放置在橡胶套管内，固定于路基封闭层上，接触网杆外侧。



图 3 自通液及通气管实物图

为了保护通液管路不被破坏，采用非金属橡胶套管对通液管路进行保护。每 1m 橡胶套管采用 U 型扣件固定在路肩的混凝土封闭层上，如图 3 所示。橡胶套管共计 500m，每侧 250m。由于固定橡胶套管所采用的 U 型卡子不是直接承受动力荷载的承重结构，采用 M6×70mm 膨胀螺栓固定。

3.3 储液罐

储液罐尺寸为 $\Phi 160 \times 350\text{mm}$ ，采用不锈钢保护壳保护。储液罐设备箱安装在网内，心最不利位置处距离线路中心

3.6m, 横向上, 与接触网杆对应布置, 不侵入设备限界。采用 4 颗 M8×80mm 后扩底锚栓固定于接触网杆边。储液罐采用后扩底锚栓固定。

3.4 太阳能板及设备箱

沉降变形太阳能板及设备箱安装在防护栅栏外侧 1m 范围内。太阳能电池板的最高安装高度不大于防护栅栏高度。太阳能电池板尺寸为 67cm×47cm, 采用 φ150mm×3mm 钢管固定。钢管埋深 80cm。钢管埋设位置原地面采用现浇混凝土换填, 换填深度 30cm。设备箱平面尺寸为 100cm×50cm, 高度为 60cm, 采用预埋螺栓锚固在换填后的现浇混凝土面上。

4 水平变形自动化监测设备安装

4.1 现场踏勘、放样

根据监测设计方案的测点布置, 在现场确定测点和自动化全站仪的安装位置, 注意应确保自动化全站仪与测点间互通视, 且小视场角小于 9.4', 以免自动化全站仪照错棱镜。确定好位置后, 用红漆标记。

4.2 网内施工: 全站仪基础施工

自动化全站仪支架采用预制混凝土墩的形式固定在路肩侧的浆砌片石边坡上。首先拆除安装位置处的砌石边坡后, 安装 Φ300×3mm 钢管, 钢管埋深为 70cm。安装混凝土基础模板, 混凝土基础平面尺寸为 50cm×50cm, 厚度为 70cm, 对钢管进行固定。自动化全站仪的安装位置应严格按照设计图纸进行, 并逐测点确定通视条件, 避免被接触网支柱、橡胶套管等遮挡。全部确认无误后, 进行全站仪基础的施工。

4.3 网内作业: 全站仪安装、棱镜安装、保护罩安装

混凝土初凝 24h 后, 在钢管上部固定全站仪连接件, 并安装全站仪及保护罩。棱镜的安装固定采用后扩底锚栓固定在路肩的封闭层上, 以确保安装牢固, 不会脱落和侵限。棱镜支架高度小于 10cm, 并加保护罩保护。全站仪与棱镜的通视条件的核查应贯穿安装和调试过程始终, 在确定全部全站仪和棱镜的位置后, 进行一次性统一安装, 在全站仪和棱镜安装固定前, 应确保全站仪与每个棱镜之间的通视条件, 避免打孔固定完成后才发现通视条件不良, 增加现场返工工作量, 造成废弃螺栓孔, 甚至导致天窗时间延点的情况出现。

如图 4 所示, 本项目共设置 2 台 TrimbleS9 自动化全站仪, 全站仪通过现浇混凝土墩固定于路基面电缆槽外侧的浆砌片

石斜坡上, 距离线路中心 4.3m 以上。

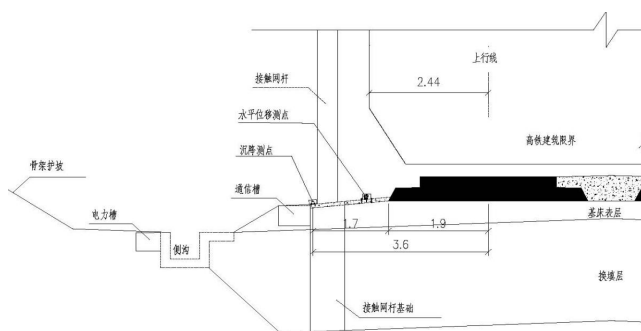


图 4 水平检测点横断面布置图

如图 5 所示, 水平变形自动化测量采用 trimbleprism-25 型棱镜。采用 1 颗 M8*80 后扩底锚栓固定在路基面的封闭层上。棱镜布置在轨道底座板边缘与电缆槽边缘之间的范围内, 具体安装位置根据现场通视条件确定。距离线路中心线的最小距离为 2.0m, 未侵入高速车辆限界。棱镜安装完成后, 加保护罩保护。

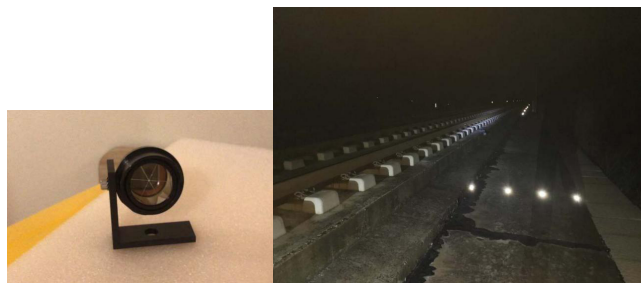


图 5 棱镜安装示意图

4.4 网外作业: 设备箱、电池板安装

机箱和太阳能电池板均安装在防护栅栏外侧。与沉降监测系统的设备箱及电池板统一安装。

4.5 调试

连接供电、通信模块, 开机后首先进行机器学习, 以便将棱镜的位置输入到全站仪中, 使全站仪可以自动识别各个棱镜。采集三次数据取平均值作为初始值存储到数据库后, 开始正常监测。自动化水平变形监测的频率为 1 次 / 小时。

4.6 验收

全部系统安装完成后, 由业主组织水平变形监测系统的验收工作。

5 监测周期、频率及预警值

5.1 监测周期及频率

监测系统应在隔离桩施工前完成安装, 并采集初始值。

工程竣工 1 个月，且监测数据已稳定后结束监测，并拆除监测设备。

变形监测频次结合上跨桥施工过程对徐兰高铁的影响风险确定。其中，变形监测频次如表 1 所示。

表 1 施工内容与监测频次

序号	施工内容	监测频次	备注
1	基坑开挖	1 次 /10 分钟	
2	承台施工	1 次 /2 小时	
3	桥墩施工	1 次 /2 小时	
4	满堂支架施工	1 次 /2 小时	
5	支架预压	1 次 /1 小时	
6	模板搭设	1 次 /2 小时	
7	梁体浇筑	1 次 /1 小时	
8	满堂支架拆除	1 次 /1 小时	
9	转体	1 次 /10 分钟	

5.2 检测预警值

5.2.1 相关规定

TG/WG115-2012《高速铁路无砟轨道线路维修规则》：WJ-7 型扣件左右位置调整量 $\pm 6\text{mm}$ ，钢轨高低位置调整量 $+26\text{mm}$ ， -4mm 。WJ-8 型扣件左右位置调整量 $\pm 5\text{mm}$ ，钢轨高低位置调整量 $+26\text{mm}$ ， -4mm 。300-1 型扣件左右位置调整量 $\pm 8\text{mm}$ ，钢轨高低位置调整量 $+26\text{mm}$ ， -4mm 。SFC 型扣件左右位置调整量 $\pm 6\text{mm}$ ，钢轨高低位置调整量 30mm ，如表 2 所示。

表 2 线路静态几何尺寸容许偏差管理值

项目	作业验收	经常保养	临时补修	限速	
				(200km/h)	
轨距 (mm)	+1	+4	+5		
+6	-1	-2	-3	-4	
水平 (mm)	2	4	6	7	
高低 (mm)	2	4	7	8	
轨向(直线)(mm)	2	4	5	6	
扭曲(mm/3m)	2	3	5	6	
轨距变化率	1/1500	1/1000			

5.2.2 预警值

监测过程中的预警值分为黄色、橙色、红色三级预警，分别为经常保养值的 60%、75%、90%，如表 3 所示。

表 3 线路静态几何尺寸容许偏差管理值

监测内容	黄色预警值 mm	橙色预警值 mm	红色预警值 mm
沉降量	2.4	3	3.6
水平变形值	2.4	3	3.6

6 监测结果

6.1 郑西高铁下行线沉降监测情况

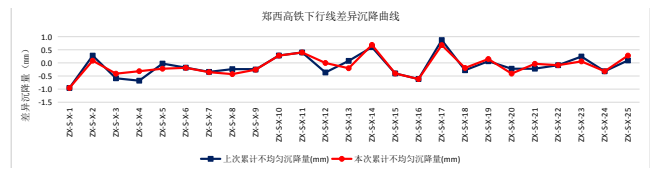


图 6 郑西高铁下行线沉降监测情况

如图 6 所示，本次累计沉降量在监控控制指标范围内，没有发生预警。差异沉降量波动范围是在 $-0.96\text{mm}\sim 0.69\text{mm}$ ，最大与最小差异沉降量的测点分别为 ZX-S-X-14，ZX-S-X-1，监测结果小于黄色预警值。

6.2 郑西高铁上行线沉降监测情况

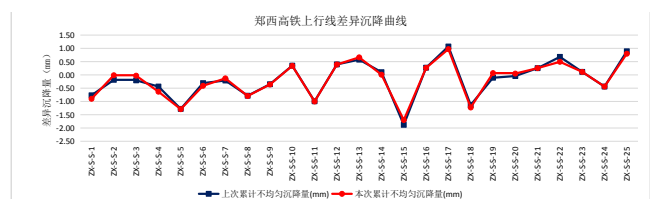


图 7 郑西高铁上行线沉降监测情况

如图 7 所示，本次累计沉降量在监控控制指标范围内，没有发生预警。差异沉降量波动范围是在 $-1.70\text{mm}\sim 0.97\text{mm}$ ，最大与最小差异沉降量的测点分别为 ZX-S-S-17，ZX-S-S-15 监测结果小于黄色预警值。

6.3 郑西高铁下行线水平变形监测情况

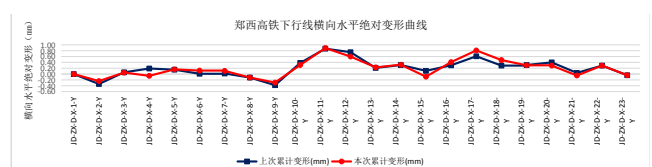


图 8 郑西高铁下行线水平变形监测情况

如图 8 所示，本次累计沉降量在监控控制指标范围内，没有发生预警。差异沉降量波动范围是在 $-0.29\text{mm}\sim 0.89\text{mm}$ ，最大与最小差异沉降量的测点分别为 ZX-D-X-11，ZX-D-X-9，监测结果小于黄色预警值。

6.4 郑西高铁上行线水平变形监测情况

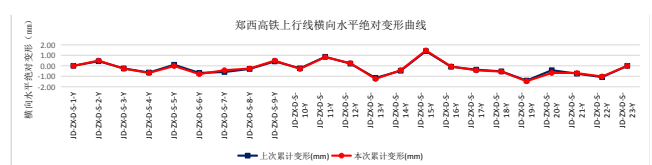


图 9 郑西高铁上行线水平变形监测情况

如图9所示,本次累计沉降量在监控控制指标范围内,没有发生预警。差异沉降量波动范围是在 $-1.47\text{mm}\sim 1.47\text{mm}$,最大与最小差异沉降量的测点分别为ZX-D-S-15-Y, ZX-D-S-19-Y,监测结果小于黄色预警值。

7 结语

本次采用自动化变形监测,通过先进的仪器设备代替传统人工测量,提高了测量精度,减少了观测误差,同时最大限度地减少了对高速铁路运营的二次干扰。本次设计采用的监测系统将各设备元件形成统一整体,使测试数据能相互进行校核,运用系统功效对铁路结构进行立体监测,确保所测数据的准确、及时。同时,在施工过程中进行连续监测采样,确保了水平变形及沉降监测的精确可靠性,为变形监测提供

了一种新的监测手段。

参考文献

- [1] 陈德春,段伟,肖文龙.自动化监测技术在基坑开挖周边既有地铁隧道变形监测中的应用[J].中华建设,2020(12):15-16.
- [2] 郝广明.既有高速铁路路基变形监测技术应用探讨[J].北京测绘,2018(11):104-105.
- [3] 黄建陵,陈诚.紧邻既有新建铁路施工组织相关问题探讨[J].铁道建筑,2011(01):67-68+52.
- [4] 中国铁路总公司.高速铁路桥涵工程施工技术规程[M].北京:中国铁道出版社,2016.
- [5] 中国铁路总公司.中国铁路总公司工电部关于加强高铁轨旁设备管理的通知(工电综技函[2019]40号)[S].2019.