

新型智能系统在钢便桥沉降监测中的应用研究

徐 达¹, 邓国民¹, 刘力铭¹, 金 琦²

[1. 上海浦东路桥(集团)有限公司, 上海市 200131; 2. 上海交通大学, 上海市 200240]

摘 要: 用于监测隧道、桥梁等构筑物沉降状态的技术与手段有多种, 但是尚未出现基于形状记忆合金这类智能材料的沉降监测技术与手段。通过以“外环东段(华夏中路—龙东大道)交通功能提升工程 1 标”项目临时钢便桥为载体, 在国内首次应用基于形状记忆合金材料制作且用于监测沉降变形的新型智能监测系统, 结果发现该智能监测系统不仅具备监测钢便桥安全状态、提前预警“坍塌”风险的意义, 而且安装操作简单、方便, 还表现出实时在线、精准、高效等特点。

关键词: 智能监测; 形状记忆合金; 沉降; 外环东段; 应用

中图分类号: U446

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)10-0307-04

Research on Application of New Intelligent Systems in Settlement Monitoring of Temporary Steel Bridges

XU Da¹, DENG Guomin¹, LIU Liming¹, JIN Qi²

[1. Shanghai Pudong Road and Bridge (Group) Co., Ltd., Shanghai 200135, China; 2. Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China]

Abstract: There are various technologies and methods used to monitor the settlement of tunnels, bridges, structures and buildings, but there are no settlement monitoring technologies and means based on smart materials such as shape memory alloys. Relying on the temporary steel bridge of the project in Bid I of “Outer Ring East Section (Huaxia Middle Road~Longdong Avenue) Traffic Function Upgrading Project, a new type of intelligent monitoring system based on shape memory alloy materials and used for monitoring settlement deformation is firstly used in China. It is found that this intelligent monitoring system not only has the significance of monitoring the safety status of temporary steel bridges and giving early warnings of the risk of “collapse”, but also is simple and convenient to install and operate, and demonstrates the characteristics of real-time online, accuracy and efficiency.

Keywords: intelligent monitoring; shape memory alloy; settlement; Outer Ring East Section; application

0 引 言

目前用于监测桥梁、建筑、隧道等构筑物施工及服役过程安全状态的技术与工具有许多, 如基于多目标成像技术, 可及时获取地铁施工工程暗挖结构变形^[1]; 借助分布式光纤技术, 监测隧道混凝土结构应变^[2]; 基于北斗系统、无人机、激光扫描仪、应力传感器、视频监控等多项技术, 搭建适合监测土木构筑物施工过程和服役阶段安全状态的智能平台^[3-4], 这些监测技术与手段都表现出各自特点, 但整体上而言这些技术难以做到 24 h 监测、24 h 输出, 且需要较多数量的人力辅助。

因此, 为了克服现有技术和设备手段的不足, 课

题组探索引入一种智能材料—形状记忆合金(英文简称 SMA), 依托上海市重大工程“外环东段(华夏中路—龙东大道)交通功能提升工程 1 标”项目, 基于该材料开发了一种新型智能监测系统, 在国内第一次采用该类系统监测结构物沉降, 以期达到预期目的。该系统的核心材料—形状记忆合金材料, 是一种耐腐蚀、强度大、电阻应变效应强的智能材料, 该材料不仅被研发人员用于监测工程结构, 而且尝试用其修复结构病害^[5-15]。在开展本研究前, 课题组前期也已开展相关研究^[16-17], 并取得一定的研究成果。

1 新型智能监测系统与测量原理

1.1 新型智能监测系统简介

新型智能监测系统基于形状记忆合金材料制成的核心元件, 联合太阳能驱动、无线信号站、SMA 应变传感核心元件和远程软硬件构建而成的远程综合

收稿日期: 2025-04-07

作者简介: 徐达(1983—), 男, 本科, 工程师, 从事市政道路工程施工管理工作。

智能监测系统,搭配5G DTU支持MQTT订阅功能可用于钢便桥梁沉降的远程应变监测,见图1。

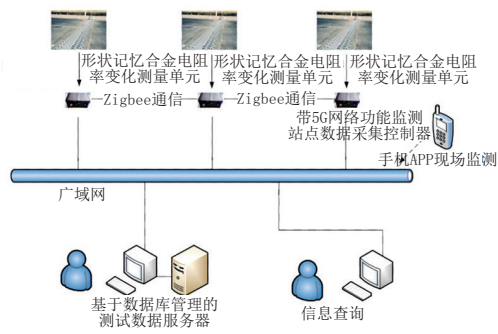


图1 远程监测系统实施逻辑网网络

该智能监测系统的SMA应变传感核心元件采用的是铝合金外壳结构设计,见图2,接缝处镶嵌硅橡胶密封条,起到保护传感器、采集模组。



图2 SMA应变传感核心元件

但是对比传统监测装置,该智能监测系统特点显著(见表1)。

表1 远程监测系统特点

特点	具体情况
监测应变范围大	最大可测应变量大于8%,常规装置应变量监测范围最大值不过3%
使用寿命长	可循环监测数亿次,常规装置使用寿命为千万次级别
适用范围广	测试的尺度不限,可全程埋植、分段测试
适应性强	可埋植于对象的内部测试样品在复杂条件下的内部应变情况
耐候、耐腐蚀性能强	材料本身耐腐蚀性能优异

1.2 新型智能监测系统测量原理

与目前常规的电阻-应变传感器的工作原理相似,该智能监测系统SMA丝材具有极其强的电阻率-应变线性特点,即当外界荷载导致SMA丝材长度发生变化时,该丝材的电阻率随之线性变化。以本钢便桥应用载体为例,在SMA应变传感核心元件内部,见图3,为了减小传感器的体积与长度,将长度2 m的SMA超弹丝来回往复地绕在6个陶瓷滑轮上,一端固定在传感器的铝合金本体上,另一端与伸缩缝测试杆连接在一起,两端分别与采集模块的测试电路相连接后测量SMA丝材的电阻,获得了应变电

阻与伸缩杆应变值之间的相关性。

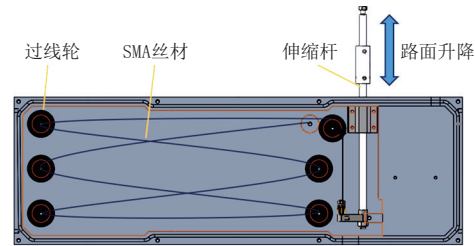


图3 SMA应变传感核心元件结构图

基于伸缩杆的应变程度与应变电阻之间的线性关系,在该项目中,使用的应变电阻可达127Ω,其对应的可监测出100 mm的应变波动。当钢便桥受到通行交通车辆荷载时,钢便桥发生一定程度的微变形,使SMA应变传感核心元件上测试杆发生伸缩变化,进而带动SMA丝材的长度随之变化,从而引起SMA传感器的电阻随之变化,电阻的变化与伸缩杆长度具有固定的对应关系,见式(1)。

$$S=0.0372\times X^2-4.83\times X+114$$
 (1)

式中:S为沉降变形量,mm;X为SMA丝材电阻,Ω。

2 新型智能监测系统安装与应用

2.1 依托工程概况

外环东段(华夏中路—龙东大道)交通功能提升工程1标,南起华夏路,向北经川杨河、西张家浜、创新西路(规划)、西南新沟,止于高科中路南侧,主线路线全长约1.7 km,地面路线全长约1.9 km,主路规划道路等级为城市快速路,辅路规划道路等级为城市主干路。采用主线双向8车道+辅道双向6车道规模建设。在高科路南侧新建1对平行匝道,改建华夏立交NE匝道、WN匝道。新建及改建匝道长约1.1 km。

2.2 钢便桥与安装点位

在该项目施工过程中,不能阻断外环线交通,因而为确保外环线正常通行,故需要搭建临时钢便桥,将外环主线交通改道到临时钢便桥。然而外环线长期交通流量大、重载车辆多,加上钢便桥属于拼接的临时构筑物,在其使用过程中存在安全风险。因而非常有必要对钢便桥的安全状态,尤其是沉降状态进行全天24 h监控。故课题组以其为载体,将公司联合某高校开发的新型智能监测系统安装到该钢便桥上,安装点位见图4,监测其沉降变形,直至该工程主线高架完工通车。

2.3 安装操作

2.3.1 人员与材料

安排2名人员进行安装作业,其中1人焊接安

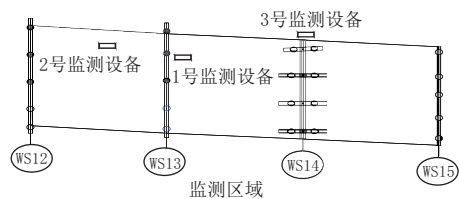


图4 钢便桥监测安装点位

装,另1人辅助作业。安装材料及设备涉及十余种,具体见表2。

表2 主要材料及设备清单

序号	名称	单位	数量
1	应变传感器监测盒子	台	3
2	太阳能板	块	3
3	铁箱	个	3
4	密封式胶体蓄电池	块	3
5	开关控制器	个	3
6	5G 信号传输装置	个	3

2.3.2 操作步骤

2.3.2.1 安装流程

安装流程包括定位放样、设备组装、设备安装、推力杆连接和设备保护等步骤。

2.3.2.2 安装准备

在施工场地设置控制点和水准点,便于在安装设备过程中,实时监控各项参数;选取监测点位,对设备安装位置做出标识,并清理场地;现场电源、水源、拼装场地准备。在进行监测设备安装前,需要对监测设备进行检查确保设备完好无损,各项功能正常。

2.3.2.3 定位放样

在监测点位正下方,使用靠尺确定好监测设备的压力杆与监测点处于同一垂直线上,然后以压力杆为中心,将设备角点及边线做好定位标记。

2.3.2.3 设备组装

(1) 综合箱体组装

将电源控制开关、蓄电池以及5G信号传输装置放于箱体内,通过电线串通连接,并将电源线通过箱体下端预留孔穿出连接于应变传感装置电源线以及太阳能板上(见图5)。综合箱体布设位置根据需求进行放置,其固定方式不做强制要求,但需注意避免箱体与水体接触。

(2) SMA 应变传感核心元件固定

设备安装固定前,事先拆开应变传感器装置检查各组件情况是否运行正常,确认无误后将设备重新安装。制拌水泥砂浆,敷设于设备按照标记线处进行找平,将设备埋设在水泥砂浆找平层内(见图6),



图5 综合箱体组装

养护24 h。监测设备安装时注意每个角点高程保持一致,各仪器墩面高程用水准仪进行找平,允许高差 $\pm 1\text{ mm}$,制作完成靠尺找平平面,设备安装高度根据实际需要确定,但请注意避免设备与水体接触。



图6 设备安装照片

(3) 推力杆连接

测量仪器压力杆与钢便桥监测点位的距离,选取等长度的 $\phi 12$ 钢筋作为推力杆,与应变传感器、钢便桥监测点位处的工字钢进行焊接固定,见图7。在该项目中,一共设置了三个应变监测点,同步在线观察桥梁沉降应变值。



图7 传力杆焊接完成

(4) 设备保护

安装完成后需要将监测设备利用护栏及保护板进行围护隔离,电源线布置于沟槽或走线盒内,见图8,防止设备及电线受到破坏。

3 测试结果与分析

从2024年6月份钢便桥投入使用,到2024年12月份,该智能监测系统一直处于运行并未间断。课题组以日和月为单位,在3个监测点中选择最具代表性测量点,根据交通流量、温度变化等研究了监测数据。



图8 长方体塑料保护盒

(1) 交通流量影响分析

在2024年6月—2024年12月间,课题组根据交通流量统计资料,对比分析了7月至12月各个月内交通流量最高峰日的监测数据,发现在各月交通流量最高峰日内,临时钢便桥的沉降应变变化范围都未超过3 mm,见图9。

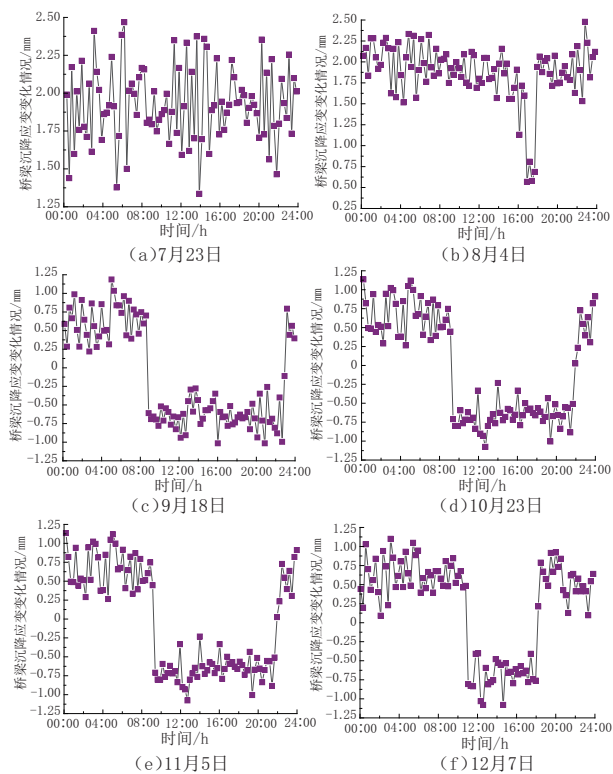


图9 2024年7月—2024年12月测量结果

(2) 温度变化影响分析

通过梳理监测时间段内温度变化情况,发现在6月15日—7月13日时间内,该区域温度处于上升时间段,在10月1日—10月31日时间内,该区域温度处于下降时间段。故课题组分析了温度上升和温度下降对钢便桥沉降应变的影响,发现温度上升和下降对应变变化的趋势一致,且变化幅度整体上都未超过3 mm。然而在2.5 mm变化范围内,升温过程中钢便桥沉降应变幅度小、分布集中且连续,而降温过程中其沉降应变变化幅度大、分布离散且不连

续,见图10。

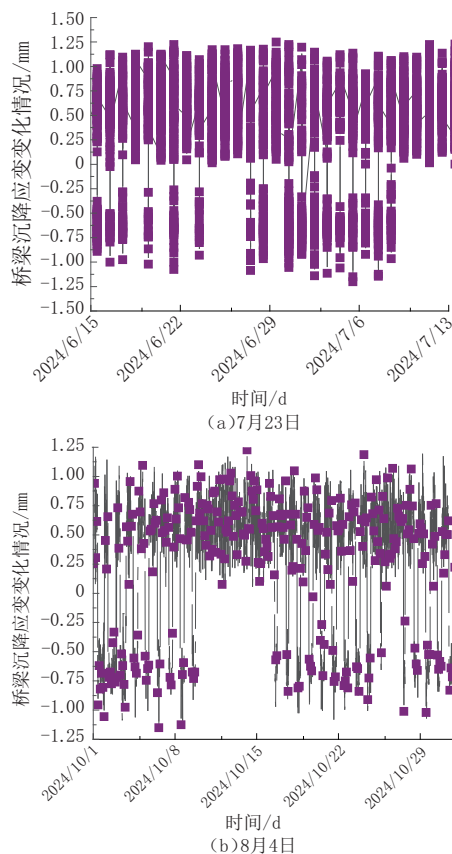


图10 6~7月和10月测量结果

5 结 语

经过半年测试,该智能监测系统采集数据维持且稳定,系统运行正常,证实了测试系统的稳定性和环境适应性。通过同步与传统监测手段(采用全站仪周期性监测)结果进行比对,得知二者数据偏差不超过5%。智能监测系统对钢便桥的运行进行了有效、精准的监测,而且为全天候24 h监测,达到了预期目的和效果。

参考文献:

- [1] 郝壮. 基于LiDAR多目标成像技术的地铁施工工程暗挖结构变形监测方法[J]. 成都大学学报(自然科学版), 2024, 43(4): 443-448.
- [2] 钟建平, 李春桃, 谭朝阳, 等. 基于分布式光纤纳应变的隧道混凝土结构应变监测的运用研究[J]. 四川建筑, 2024, 44(6): 113-116.
- [3] 胥远超, 李昊坤. 土木工程结构健康监测技术创新与应用研究[J]. 新城建科技, 2024, 33(10): 57-59.
- [4] 尹春维. 智能化监测在建筑结构安全施工中的应用研究[J]. 广东建材, 2024, 40(12): 167-169.
- [5] 韩旭, 邢晓涛, 刘兵飞, 等. 基于应变传递模型的形状记忆合金混凝土结构裂缝损伤监测与修复研究[J/OL]. 工程力学, 1-11[2025-04-03].
- [6] 姜旭, 吕志林, 强旭红, 等. Fe-SMA主动加固钢桥面横隔板弧形切口疲劳裂纹实桥应用研究[J]. 桥梁建设, 2024, 54(3): 54-60.

(下转第319页)