

# 轨温位移监测设备在城市轨道交通的应用研究

陈书鹏 曹桐瑞 金贵钧 姬佑军

中铁一局集团新运工程有限公司 河南 郑州 450000

**摘要:** 钢轨温度和位移的变化会对锁定状态下的钢轨产生压力,如果变化过大,这种压力可能会超过钢轨的承载能力,甚至影响铁路系统的安全运行。无缝线路钢轨温度及位移监测系统,实现了24h不间断检测,可实时了解和掌握无缝线路钢轨的温度和位移的变化情况,提高工务部门无缝钢轨的安全管理和科学管理水平,从而保障轨道系统的安全运行。

**关键词:** 轨温; 位移; 监测系统

城市轨道交通线路大多采用无缝钢轨,以提高乘坐舒适性,但随着温度的变化,由于热胀冷缩效应,处于锁死状态的钢轨内部应力增大,极端情况下可能导致钢轨损伤。为了及时掌握城市轨道交通钢轨状态,保障运行安全,项目在某城市轨道交通线路钢轨旁安装了轨温位移监测设备。

## 1 轨温位移监测系统

为实时监测城市轨道交通线路高架段各种环境温度下的钢轨温度及钢轨位移伸缩量情况,项目在下行道岔6705伸缩调节器后、上行道岔6706伸缩调节器后轨旁安装监测钢轨温度及钢轨位移伸缩量情况,为极端天气温度下钢轨伸缩情况提供依据。

### 1.1 系统原理

轨温上升,钢轨会发生膨胀,但由于扣件的约束不能自由伸缩时,在钢轨内部就会产生钢轨温度力<sup>[1]</sup>。一根钢轨长度为L可自由伸缩的钢轨,当轨温变化 $\Delta t$ 时,其伸缩量为:

$$\Delta L = \alpha \cdot L \cdot \Delta t \quad (1)^{[2]}$$

其中 $\alpha$ -钢轨的线膨胀系数,取 $11.8 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ ;

L-钢轨长度(mm);

$\Delta t$ -钢轨变化幅度( $^\circ\text{C}$ );

如若钢轨被完全约束,不能发生伸缩,则会在内部产生温度力。根据虎克定律,温度应力 $\delta_t$ 为:

$$\delta_t = E \cdot \varepsilon_t = E \cdot \alpha \cdot \Delta t \quad (2)^{[3]}$$

式中,E-钢的弹性模量,  $E = 2.1 \times 10^5 \text{ MPa}$ ;

$\delta_t$ -钢的温度应变;

则温度应力为:

$$\delta_t = 2.1 \times 10^5 \times 11.8 \times 10^{-6} \Delta t = 2.48 \Delta t (\text{MPa})$$

一根钢轨所受的温度力 $P_t$ 为:

$$P_t = \delta_t \cdot F = 2.48 \Delta t \cdot (MPa) \quad (3)$$

式中,F-钢轨断面积( $\text{mm}^2$ )

由上式可知,无缝线路长钢轨锁定后,随着轨温的变化,钢轨内部所承受的温度应力与轨温的变化幅度 $\Delta t$ 成正比,而与钢轨的长度无关。因此可以通过监测钢轨温度及钢轨位移伸缩量,为极端天气温度下钢轨伸缩情况提供依据,并能间接反馈钢轨所受温度应力。

### 1.2 系统的组成

本系统在钢轨上布置贴片温度传感器对钢轨温度进行监测,在钢轨上安装限位反光板并在轨旁安装激光位移传感器对钢轨位移伸缩量进行监测,在数据采集箱内安装温湿度传感器测量环境温度湿度。

数据采集箱将温度、位移数据每隔一定的时间间隔通过数据传输模块(4G网络)同步上传至云服务器,可在web网页端及手机APP随时查看监测结果。

## 2 轨温位移监测系统检测原理及设备安装

### 2.1 温度测量单元

轨道温度测量采用贴片式轨温传感器,通过高导热硅胶片(硅胶片耐压5000V)包裹测温传感器,用绝缘板将其压在安装底座上,保证钢轨的绝缘要求。钢轨红外温度测量设备示意图如下:

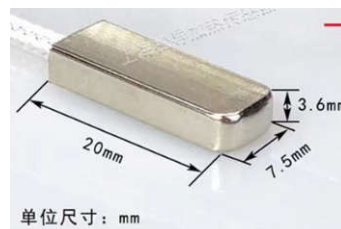


图1 贴片温度传感器

### 2.2 位移测量单元

钢轨位移伸缩量采用激光位移传感器测量,如图2所示。激光位移传感器的三角测量原理:激光位移传感器通过镜头将可见红色激光射向被测物体表面,经物体表面散射的激光通过接收器镜头,被内部的CCD线性相机

接收,根据不同的距离,CCD线性相机可以在不同的角度下“看见”这个光点。当与目标的距离产生变化时,穿过接收镜头的光线的角度也会随之变化:因为受光点和测量距离有一一对应关系(发射点和待测点及受光点组成特定的三角形),根据这个角度及已知的激光和相机之间的距离,数字信号处理器就能计算出传感器和被测物体之间的距离。激光位移传感器原理图如图3所示。



图2 激光位移传感器示意图

2.3 室外温湿度传感器

每个检测单元在采集箱内配置了室外温湿度传感器。通过采集实时室外温湿度传感器,为分析钢轨位移规律提供更完整,更全面的数据。



图3 室外温湿度传感器示意图

2.4 数据采集箱

数据采集箱实时采集温度传感器数据,每隔一定的时间间隔将钢轨温度、位移伸缩量、环境温湿度数据通过数据传输模块,采用4G网络,传输至云服务器。

2.5 现场设备定位信息绑定

现场数据采集设备云地图位置输入,可以定位设备安装位置,方便后期设备、故障排查、维护时快速定位。

2.6 装置特点

第一:检测设备自动运行无人值守,可实时监控钢轨温度、位移数据,并设置有轨温报警值和位移报警值,报警信号可及时反馈给工务部门。

第二:钢轨温度、位移测量精度高。

第三:所有检测数据通过4G网络自动上传至服务器,便于数据管理与存储。

第四:可在web网页端及手机APP查看、分析检测数据。

2.7 测量参数及指标

表一 (测量参数及指标)

| 序号 | 检测项目   | 测量范围        | 精度    |
|----|--------|-------------|-------|
| 1  | 轨道温度   | -30℃ ~ 100℃ | ±1℃   |
| 2  | 位移     | ±100mm      | 0.5mm |
| 3  | 温湿度传感器 | -40℃ ~ 120℃ | ±1℃   |

3 测试结果

设备安装后可实时在线监测轨温和位移数据,分别选取上行道岔2024年7至11月轨温、位移量见图5;下行道岔2024年7至11月轨温、位移量见图6。

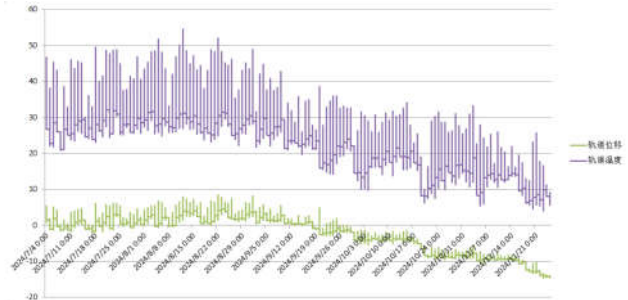


图5 上行道岔2024年7月至11月轨温、位移数据波形

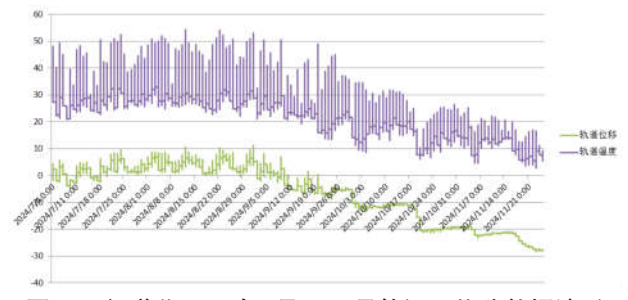


图6 下行道岔2024年7月至11月轨温、位移数据波形

由图5、6可以看出,轨道温度与环境温度正相关,随环境温度而变化;轨道位移随轨道温度变化而变化,且与温度变化正相关。

夏天、冬天单日轨温、位移量变化对比表,见表1。从表1钢轨实际位移伸缩量与理论自由伸缩量对比来看,上行钢轨长度1.3km,下行钢轨长度5.4km,由于钢轨采用钢轨扣件固定,钢轨实际位移伸缩量 $\Delta L$ 均远小于理论自由伸缩量;由此可见钢轨被完全约束,伸缩量减小,则会在内部产生温度力。从上行钢轨、下行钢轨夏日伸缩量对比以及冬日伸缩量对比来看,由于下行钢轨长度较长,钢轨位移伸缩量相对较大。从夏天单日变化与冬天单日变化对比来看,夏天轨温变化幅度较大,差值约24.6℃,轨道位移伸缩量随轨温变化明显,位移差值约5.9mm,轨道位移伸缩量对轨温变化相对敏感;冬日轨温变化幅度较小,差值约12.4℃,轨道位移伸缩量对变化很小,位移伸缩量差值约0.8mm,轨道位移伸缩量对轨温变化敏感度降低。

表二 夏天、冬天单日轨温、位移量变化对比表

| 上行钢轨长度L=1.3(km) |            |                 |                 |            |                 |               |
|-----------------|------------|-----------------|-----------------|------------|-----------------|---------------|
| 7月21日           | 上升阶段轨温(℃)  | 上升阶段位移量mm       | 理论自由伸缩量<br>ΔLmm | 下降阶段轨温(℃)  | 下降阶段位移量mm       | 理论伸缩量<br>ΔLmm |
|                 | 23.7       | -0.5            |                 | 48.3       | 4.9             |               |
|                 | 48.3       | 4.9             |                 | 28.1       | 2.5             |               |
|                 | 上升阶段轨温差(℃) | 上升阶段位移差<br>ΔLmm |                 | 下降阶段轨温差(℃) | 上升阶段位移差<br>ΔLmm |               |
|                 | 24.6       | 5.4             | 377.36          | -20.2      | -2.4            | -309.89       |
| 11月21日          | 上升阶段轨温(℃)  | 上升阶段位移量mm       |                 | 下降阶段轨温(℃)  | 下降阶段位移量mm       |               |
|                 | 4          | -27             |                 | 16.4       | -26.2           |               |
|                 | 16.4       | -26.2           |                 | 7.2        | -26.6           |               |
|                 | 上升阶段轨温差(℃) | 上升阶段位移差<br>ΔLmm |                 | 下降阶段轨温差(℃) | 上升阶段位移差<br>ΔLmm |               |
|                 | 12.4       | 0.8             | 190.26          | -9.2       | -0.4            | -141.13       |
| 下行钢轨长度L=5.4(km) |            |                 |                 |            |                 |               |
| 7月21日           | 上升阶段轨温(℃)  | 上升阶段位移量mm       | 理论自由伸缩量<br>ΔLmm | 下降阶段轨温(℃)  | 下降阶段位移量mm       | 理论伸缩量<br>ΔLmm |
|                 | 27.3       | -0.1            |                 | 48.7       | 5.8             |               |
|                 | 48.7       | 5.8             |                 | 32.1       | 2.3             |               |
|                 | 上升阶段轨温差(℃) | 上升阶段位移差<br>ΔLmm |                 | 下降阶段轨温差(℃) | 上升阶段位移差<br>ΔLmm |               |
|                 | 21.4       | 5.9             | 1363.61         | -16.6      | -3.5            | -1057.75      |
| 11月21日          | 上升阶段轨温(℃)  | 上升阶段位移量mm       |                 | 下降阶段轨温(℃)  | 下降阶段位移量mm       |               |
|                 | 5.3        | -14.1           |                 | 17.7       | -12.6           |               |
|                 | 17.7       | -12.6           |                 | 7.2        | -13.9           |               |
|                 | 上升阶段轨温差(℃) | 上升阶段位移差<br>ΔLmm |                 | 下降阶段轨温差(℃) | 上升阶段位移差<br>ΔLmm |               |
|                 | 12.4       | 1.5             | 790.13          | -10.5      | -1.3            | -669.06       |

系统设定轨道温度为27℃，目前上行钢轨监测最高轨温为54.2℃，对应最大正向位移为11.3mm;上行钢轨监测最低轨温为2.7℃，对应最大负向位移为-28.3mm。目前下行钢轨监测最高轨温为54.6℃，对应最大正向位移为8.5mm；下行钢轨监测最低轨温为4℃，对应最大负向位移为-14.8mm。由此可见，本监测系统可以实时监测钢轨温度及钢轨位移伸缩量情况，为极端天气温度下钢轨伸缩情况提供依据。

结语

无缝线路钢轨温度及位移监测系统，实现了24h不间断检测，可实时了解和掌握无缝线路钢轨的温度和位移的变化情况，具有较为完善的统计分析和报警功能。监测系统为工务部门提供有效的现场数据，可深入分析

无缝钢轨的安全运营情况，制定行车和施工安全指导意见，提高工务部门无缝钢轨的安全管理和科学管理水平。通过适当的轨温管理、维护以及在特定气候条件下采取的预防措施，可以有效控制温度应力对钢轨的负面影响，保障轨道系统的安全运行。

参考文献

[1]陈庆民著无缝线路[M]北京:中国铁道出版社2004:10-20

[2]广钟岩铁路无缝线路[M],北京:中国铁道出版社2005:35-56

[3]卢耀荣著无缝线路研究与应用[M]北京:中国铁道出版社2004:24-33