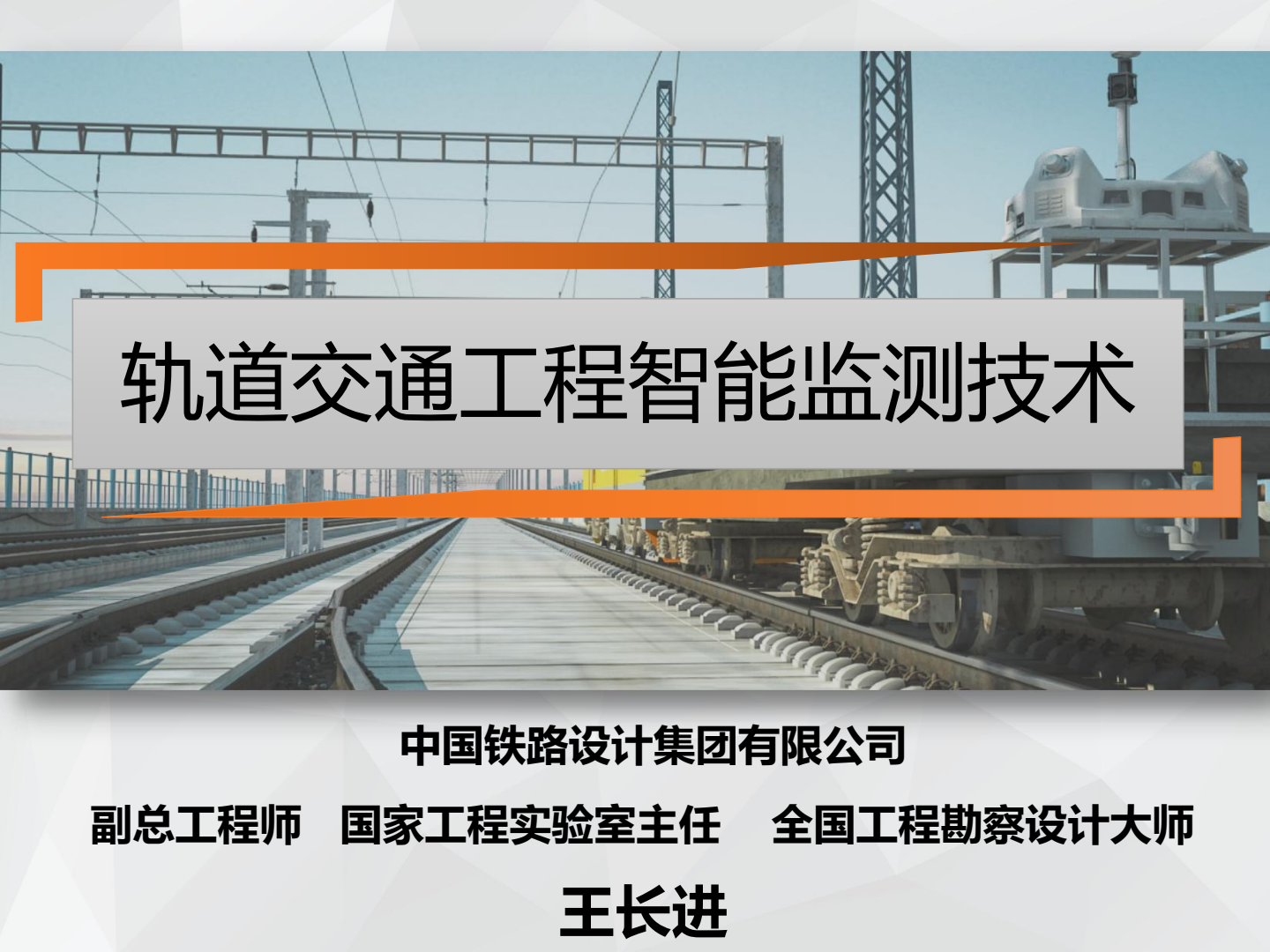




轨道交通工程智能监测技术

中国铁路设计集团有限公司

副总工程师 国家工程实验室主任 全国工程勘察设计大师

王长进

一、我国轨道交通（铁路、地铁）概况

二、基于卫星遥感的环境变化监测技术

三、基于惯性导航的轨道状态检测技术

四、基于激光雷达的快速移动检测技术

五、基于全站仪的形变自动化监测技术

六、基于北斗卫星的三维形变监测技术

七、基于MEMS传感器的形变监测技术

一、我国轨道交通（铁路）概况（截至2019年底）

全国铁路营业里程13.9万公里以上，其中高铁3.5万公里。

截止2019年12月底全国各省市高铁里程排行榜

序号	省份	高铁（设计时速200公里及以上）、 城际铁路通车里程（公里）
1	广东省	2095
2	辽宁省	2033
3	江西省	1941
4	湖南省	1892
5	山东省	1879
6	安徽省	1844
7	河南省	1841

一、我国轨道交通（地铁）概况（截至2019年底）

40个城市开通城轨交通运营线路208条，总长度6736.2公里。



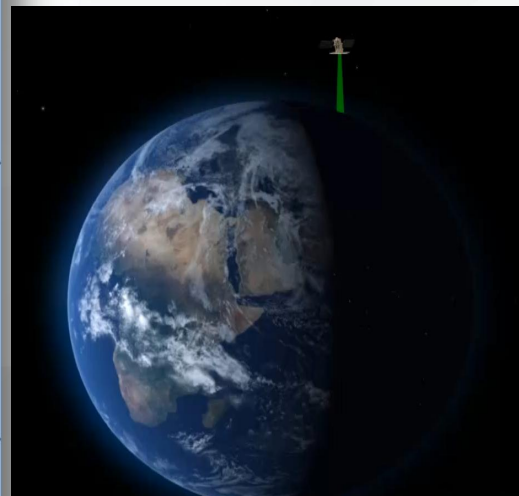
二、基于卫星遥感的环境变化动态监测技术

● 大场景

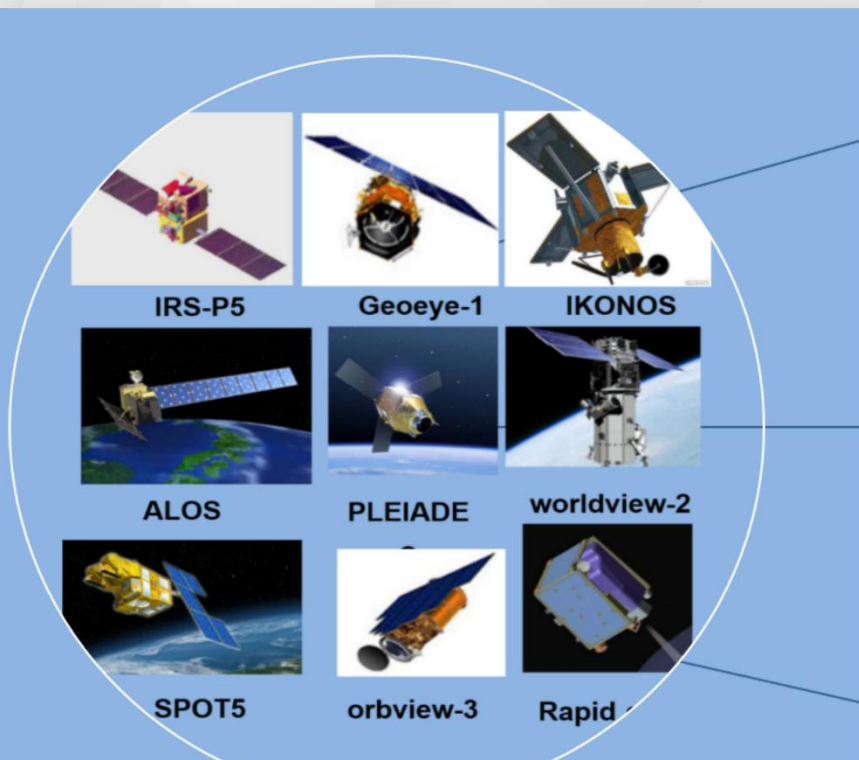
单幅可覆盖宽度20+km

● 数据资源丰富

1400颗卫星

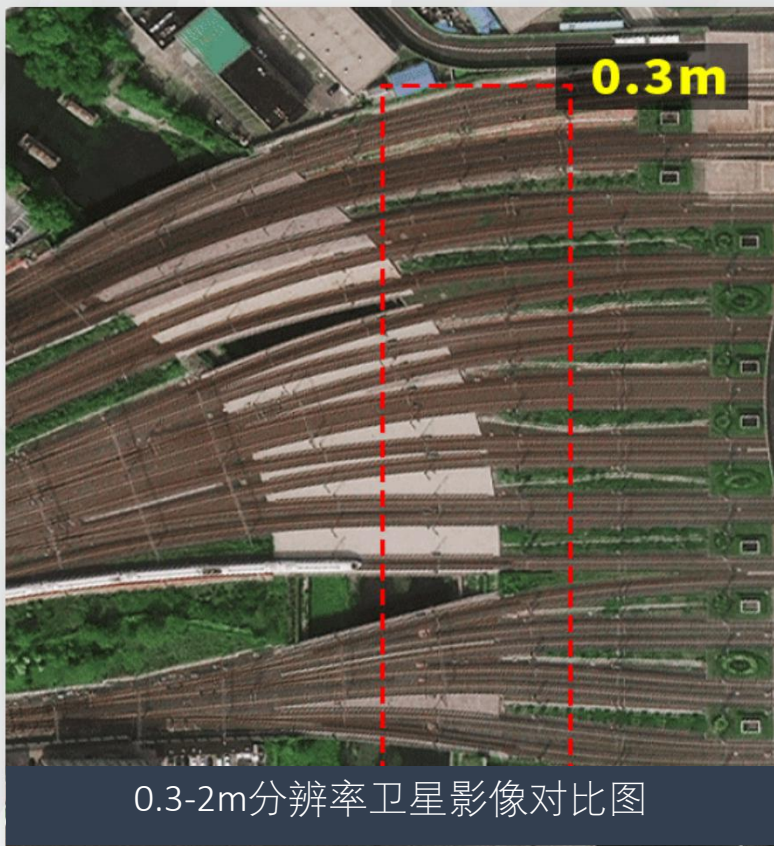


卫星全球拍摄



国外主要影像遥感卫星

二、基于卫星遥感的环境变化动态监测技术



● 高空间分辨率

0.3m~30m, 国内商用达到0.5m

● 高几何精度

无控定位精度优于10m, 最高达到3m

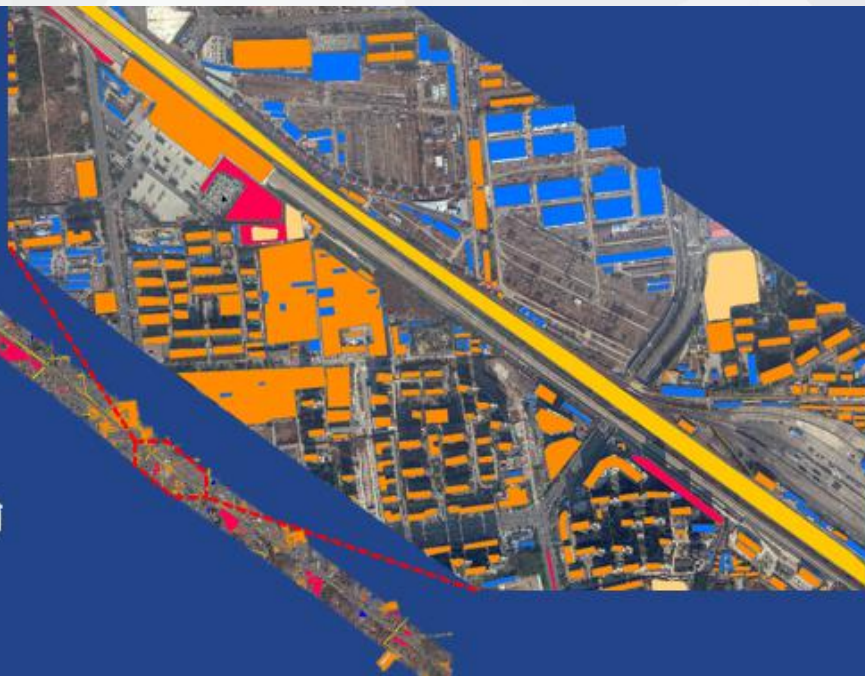
● 高时间分辨率

常规光学卫星最高可达1天重访, 视频卫星4小时重拍

二、基于卫星遥感的环境变化监测技术

采用卫星遥感动态监测技术，对定期获取的光学卫星影像进行深度学习，实现风险源识别和监测。

- 训练8类样本。
- 自动提取为主，辅助人机交互，单期建库工作1天内完成。
- 配合人工巡查，更新问题库，输出制图，报表成果提交应用。



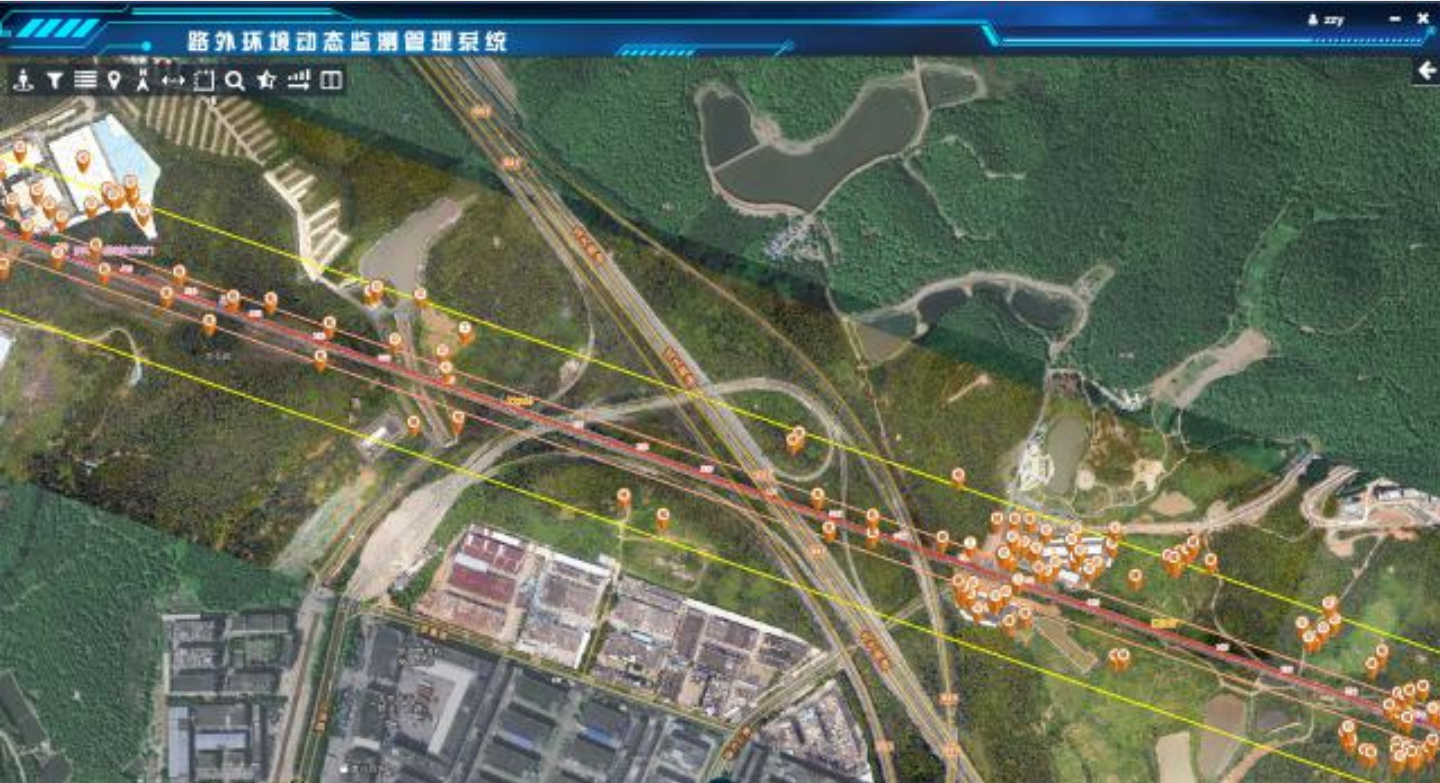
二、基于卫星遥感的环境变化监测技术

通过对多期卫星遥感影像进行比较展示，直观获取环境变化信息。



二、基于卫星遥感的环境变化监测技术

搭建保护区环境动态监测管理系统，进行多期展示分析和单要素分析。



二、基于卫星遥感的环境变化监测技术

定时定期生成检测变化报告和报表，指导现场巡检作业和决策处置。

铁路沿线风险监测问题报告

里程范围: K40+0至K80+0		铁路左侧: 20-100m		铁路右侧: 20-100m	
开始日期: 2018-09-10		截止日期: 2018-10-10			
问题统计					
位置	问题类型	个数(个)	面积(㎡)	位置	问题类型
安保区内:	既有问题(未整改)	0	0	安保区外-线 路范围100米	既有问题(未整改)
	既有问题(已整改未消除)	0	0		既有问题(已整改未消除)
	新增问题(未消除)	0	0		新增问题(未消除)
	新增问题(已消除)	0	0		新增问题(已消除)
	已消除问题	0	0		已消除问题
				面积(㎡)	
				说明	
				309.61	

举例：20180910-
20181010期影像

铁路沿线风险监测问题台账

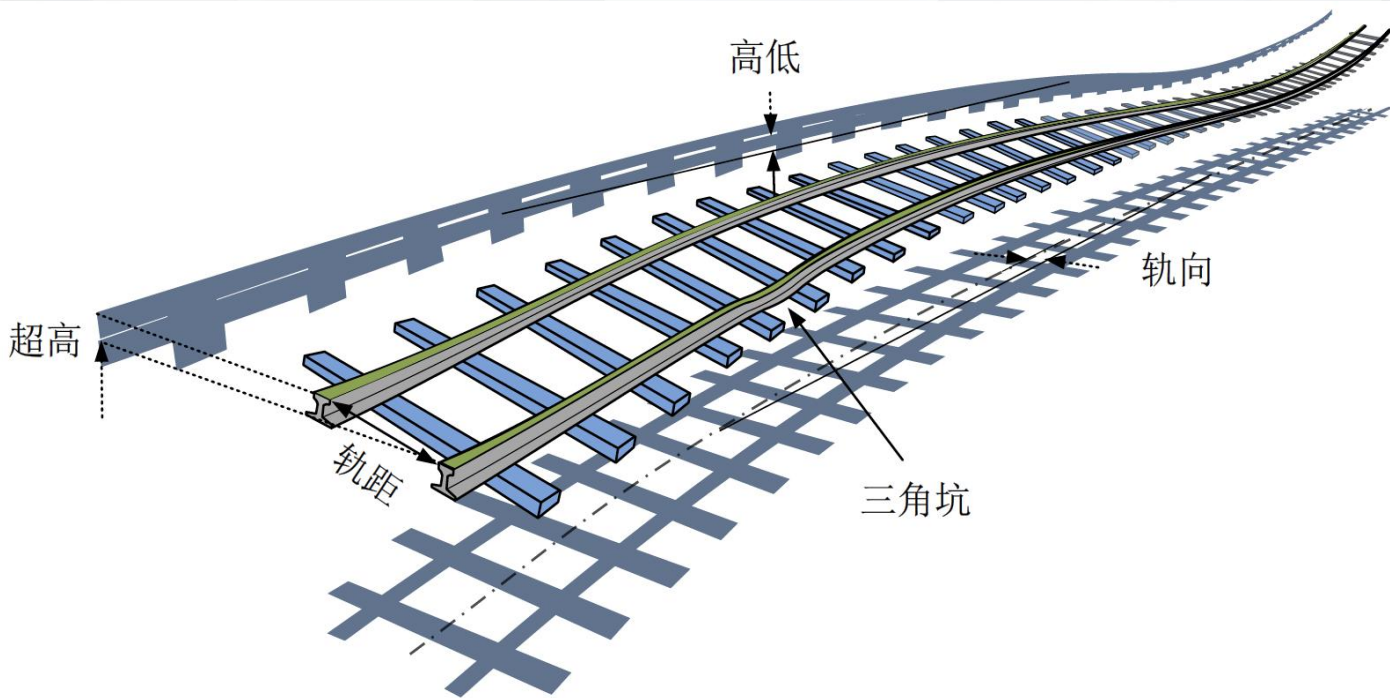
[illegible]

操作人員

自动、定期生成检测变化报告和报表

三、基于惯性导航的轨道状态检测技术

轨道几何状态（轨距、超高、轨向、高低、三角坑）直接影响到列车的安全平稳运行。



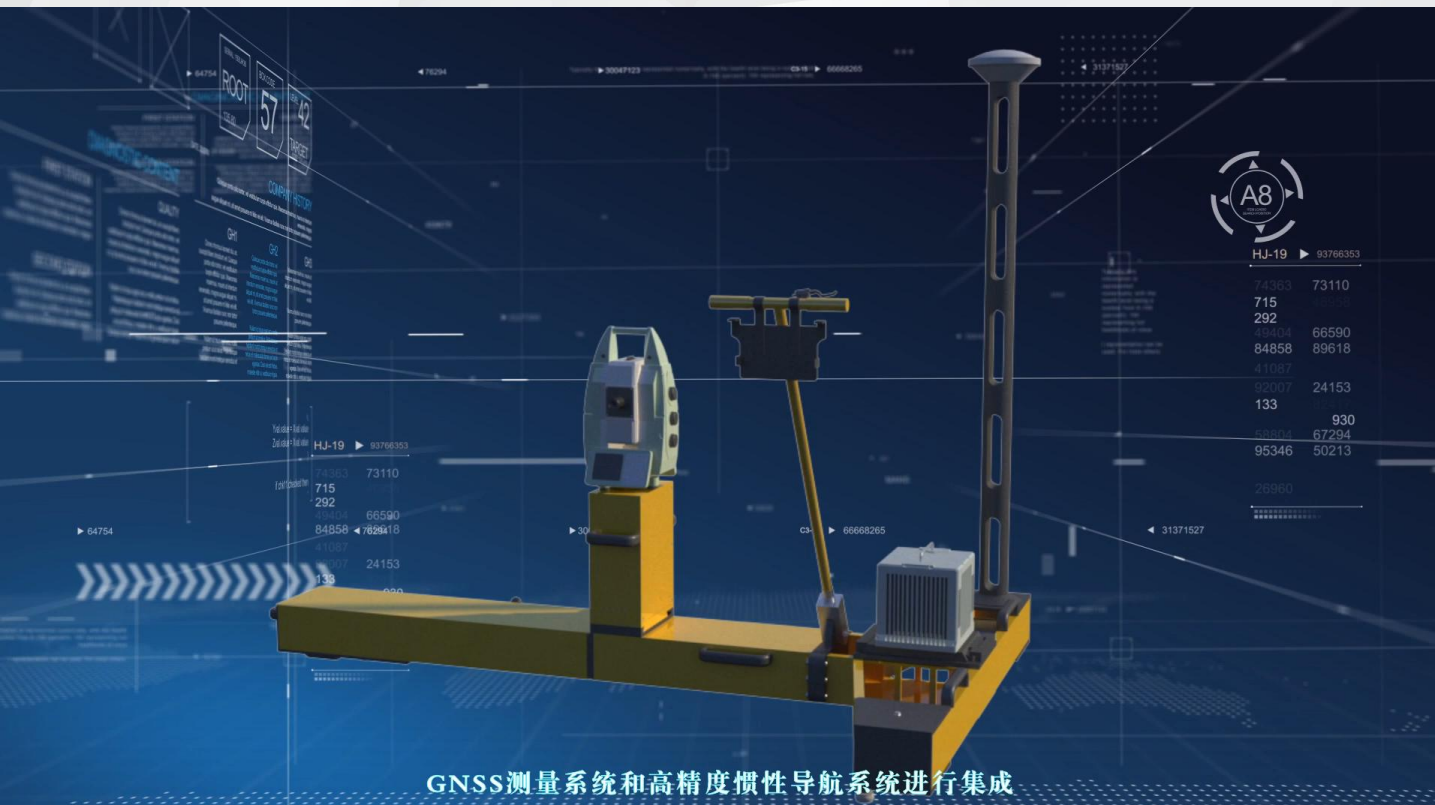
三、基于惯性导航的轨道状态检测技术

集成惯性导航、卫星导航、测量机器人、精密轨道小车等硬件。



通过将位移传感器

在移动状态下，对轨道静态几何状态进行快速检测。



三、基于惯性导航的轨道状态检测技术

通过图像化操作界面，大幅提高轨道状态检测效率。



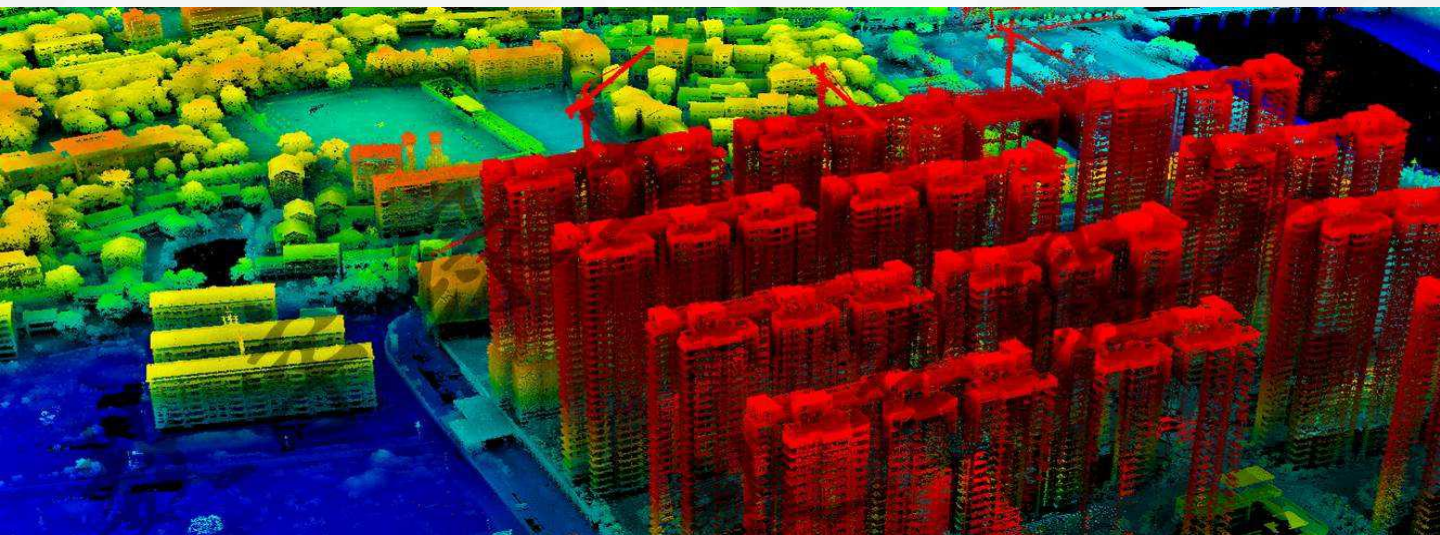
三、基于惯性导航的轨道状态检测技术

该小车在郑万、大张项目同安博格小车进行了全面测试及对比，各项参数较差均在规范限差内，满足高速铁路轨道检测要求。



四、基于激光雷达的快速移动检测技术

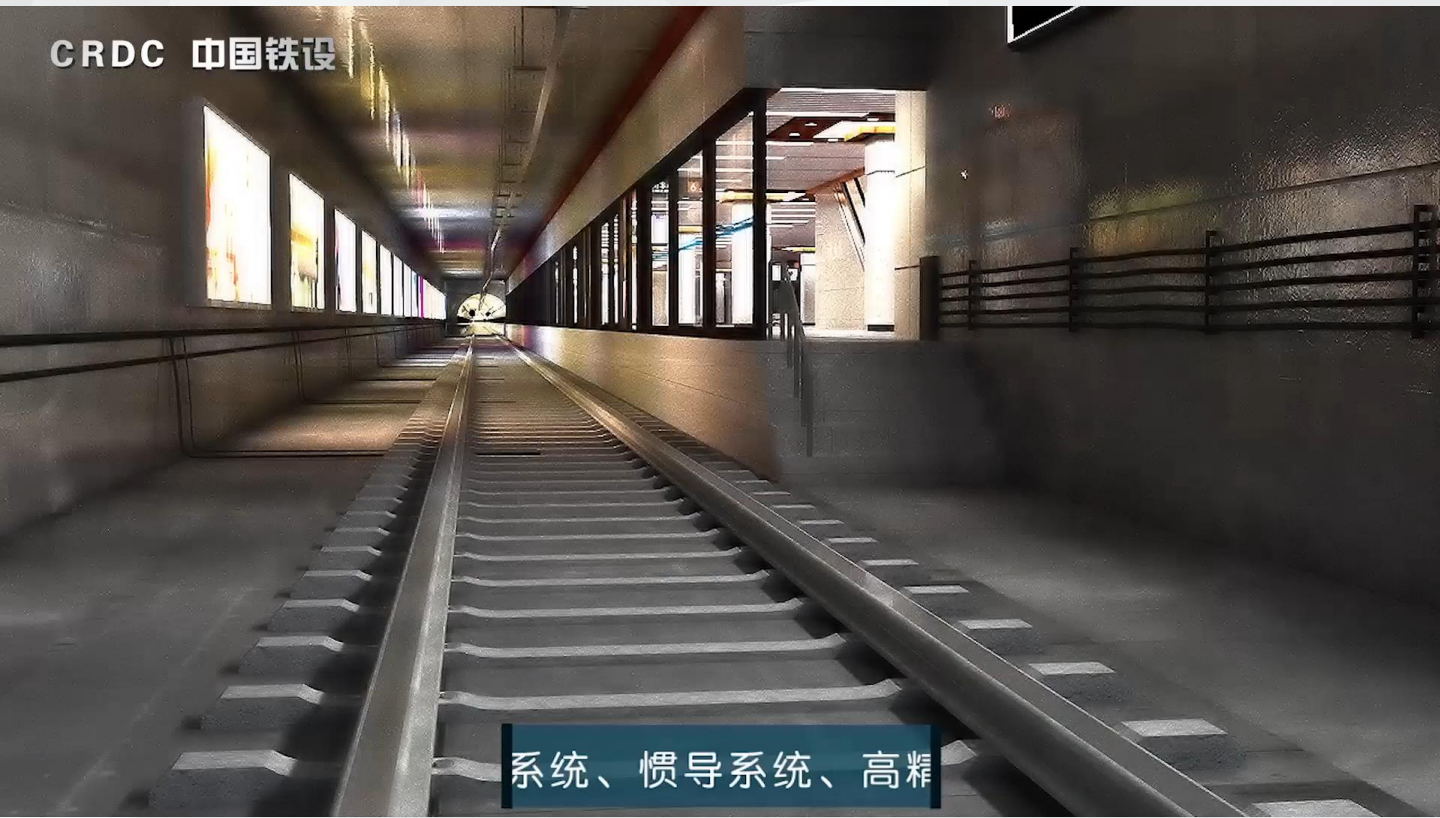
激光雷达是利用激光测距的原理，通过记录被测物体表面大量的密集的点的三维坐标、反射率和纹理等信息，可快速复建出被测目标的三维模型及线、面、体等各种图件数据。



四、基于激光雷达的快速移动检测技术

集成激光雷达、惯性导航、自驱动轨道小车等设备。

CRDC 中国铁设

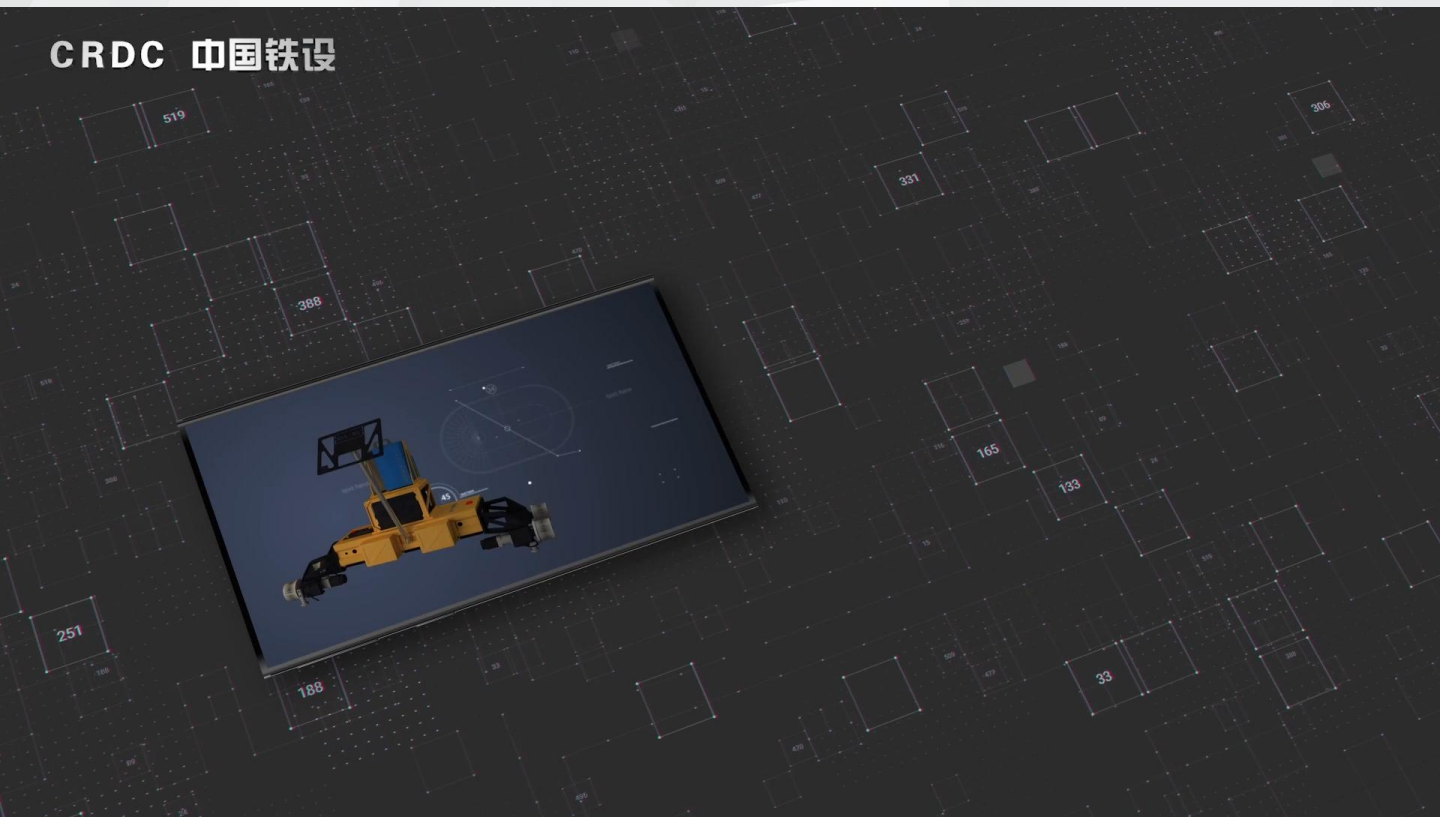


系统、惯导系统、高精

四、基于激光雷达的快速移动检测技术

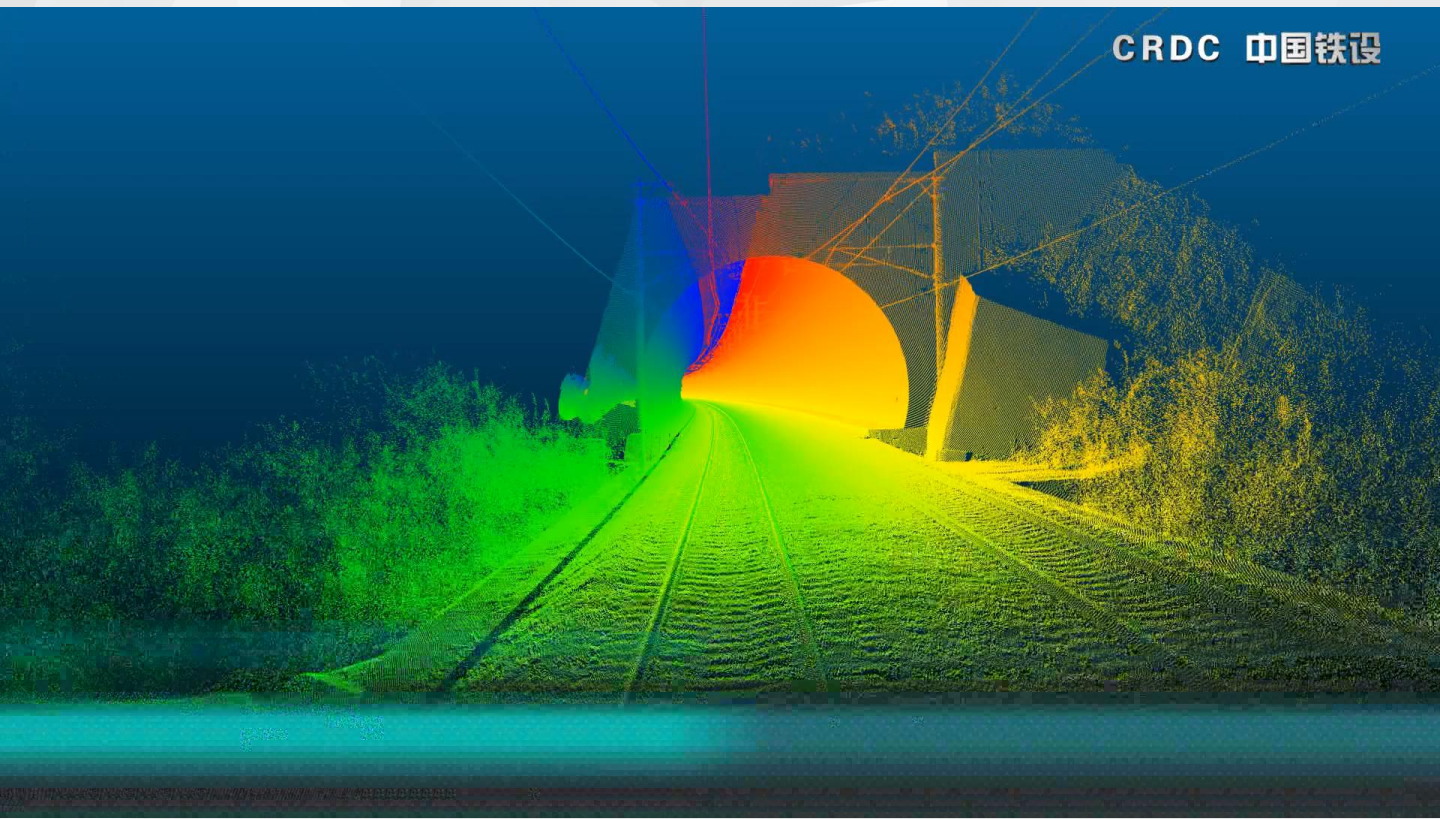
采用绝对和相对作业模式，快速获取轨道交通设备设施三维数据。

CRDC 中国铁设



四、基于激光雷达的快速移动检测技术

多测合一，一次性采集，多方面应用。



五、基于全站仪的形变自动化监测技术

集成全站仪、工控机、无线通信模块、温湿气压传感器等设备，自动获取监测点三维坐标并推送至服务器，实时解算、评估、预警。



全站仪

中国铁设监测机

五、基于全站仪的形变自动化监测技术

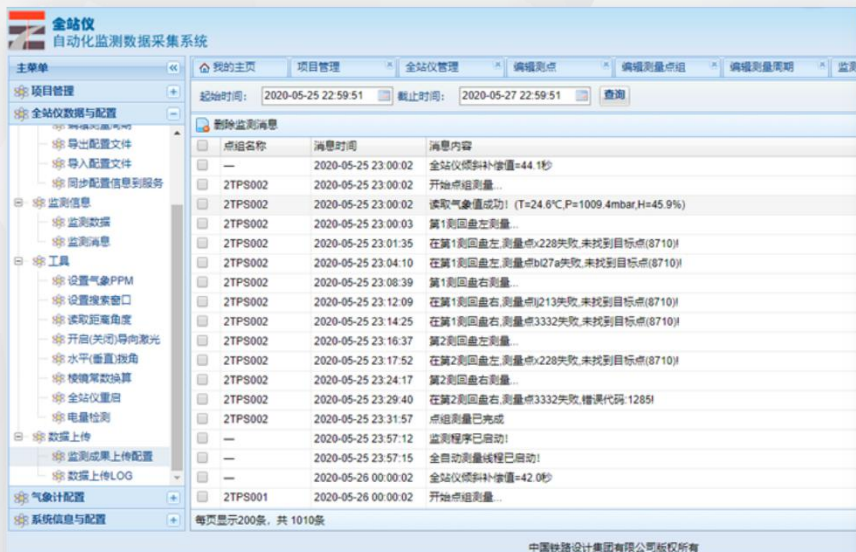
由数据采集、解算分析及数据可视化等三个子系统组成。



数据采集子系统-现场监测人员
解算分析子系统-内业分析人员
数据可视子系统-项目管理人员

五、基于全站仪的形变自动化监测技术

数据采集子系统包括监控机和远程配置网站，监控机自动驱动全站仪采集数据，并实时上传至数据分析子系统。



远程配置网站



监控机及全站仪

五、基于全站仪的形变自动化监测技术

天津泰达R5河海基坑与邻近天津地下直径线施工监测项目



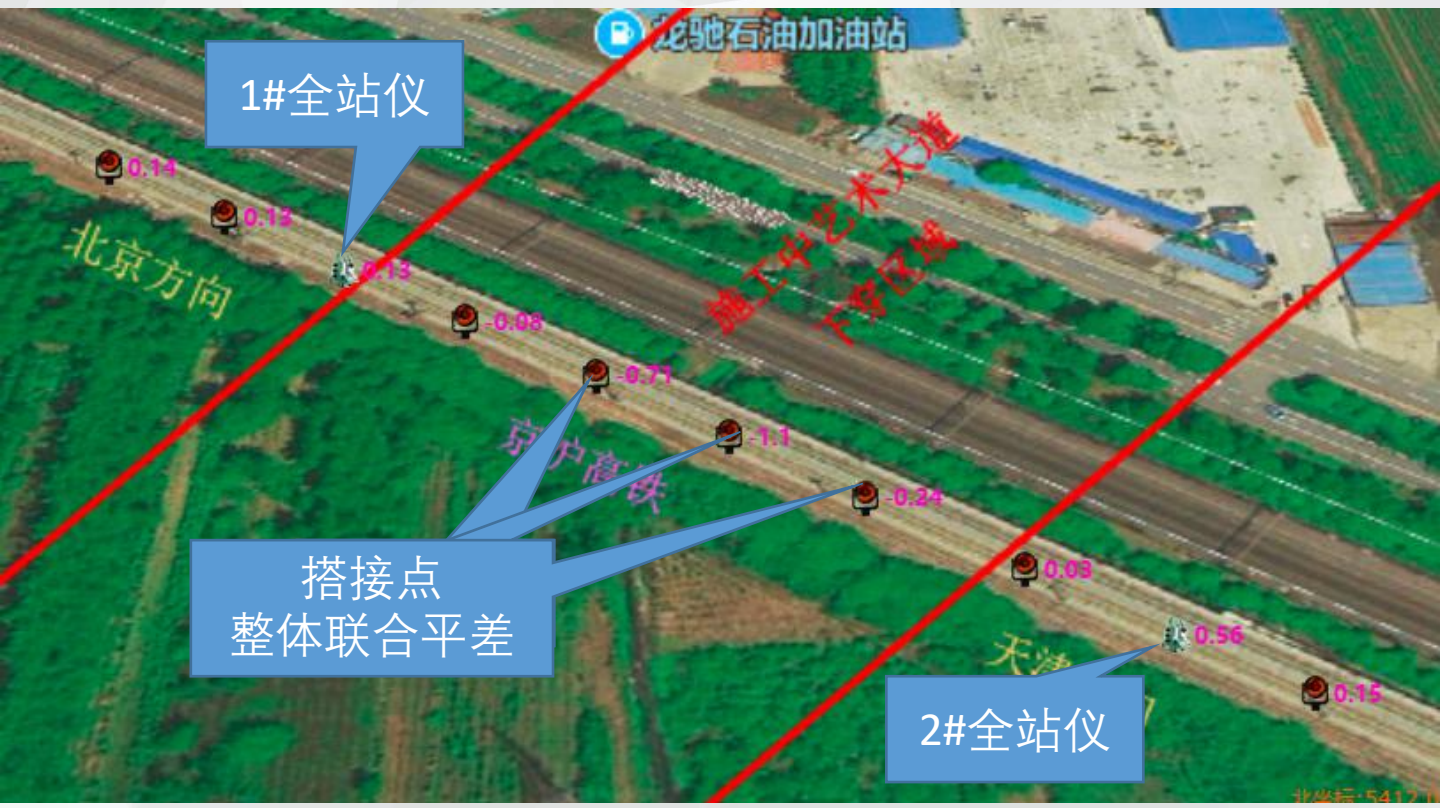
五、基于全站仪的形变自动化监测技术

北京地铁17号线北-朝盾构区间下穿京津城际铁路北京环线特大桥变形监测



五、基于全站仪的形变自动化监测技术

廊坊市艺术大道东西贯通工程下穿廊万路、京沪铁路桥部分工程京沪高铁监测



五、基于全站仪的形变自动化监测技术

廊坊市艺术大道东西贯通工程下穿廊万路、京沪铁路桥部分工程京沪高铁监测



全站仪



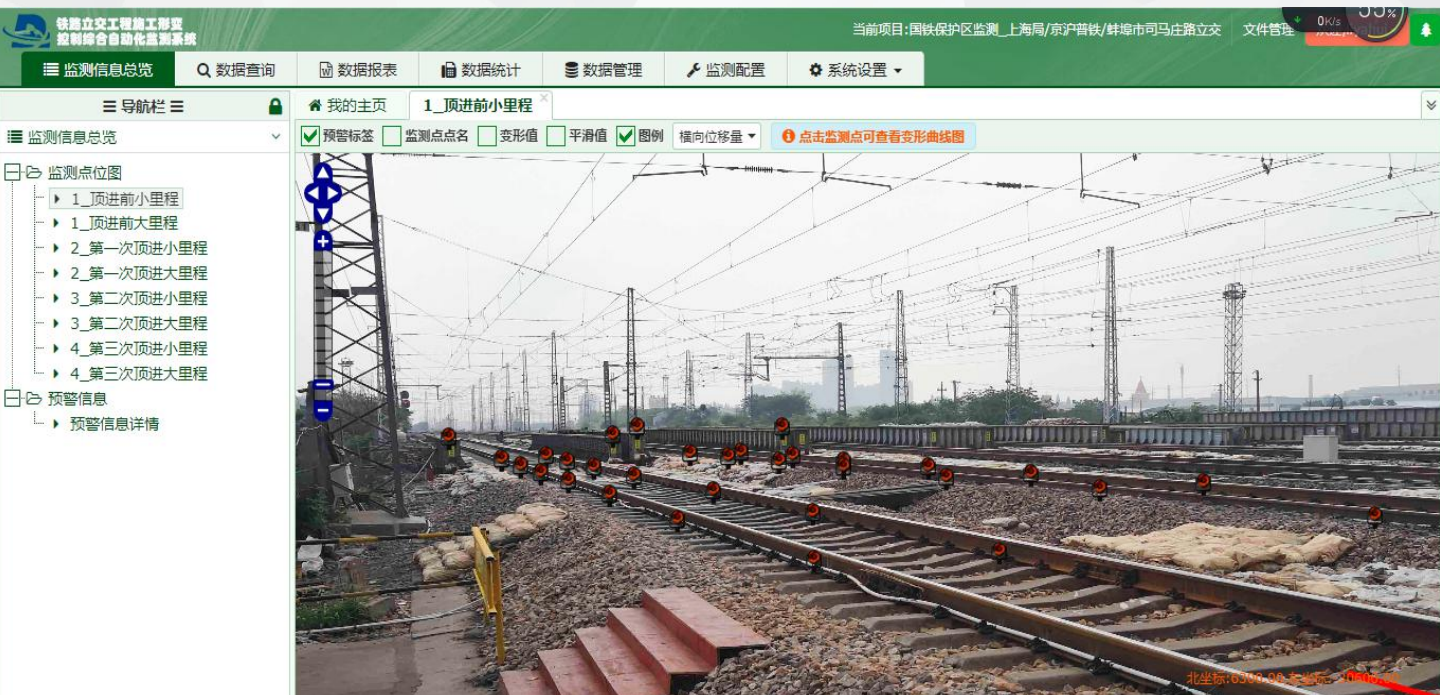
监测点



搭接点

五、基于全站仪的形变自动化监测技术

解算分析子系统是一套部署在云服务器的网站系统，实现了监测数据的实时解算、分析、预警及日周月报表输出。



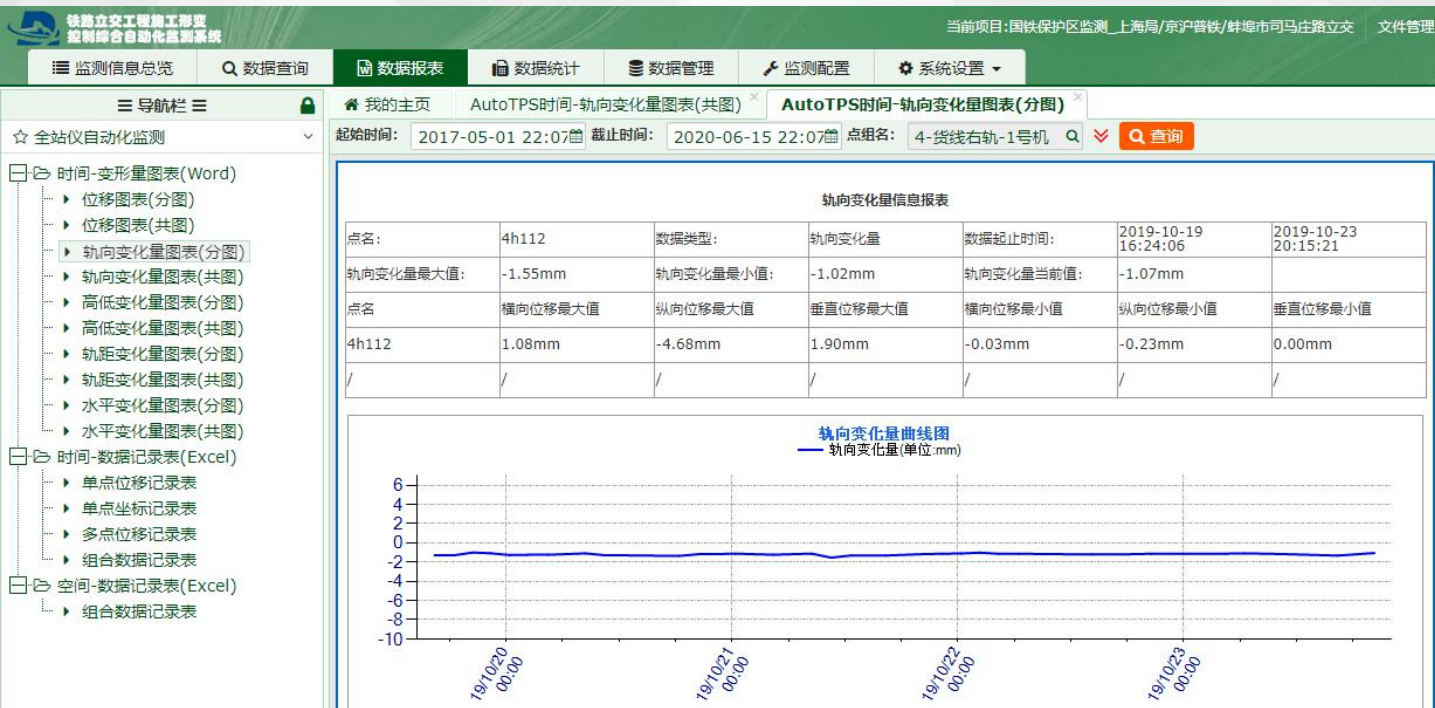
五、基于全站仪的形变自动化监测技术

监测点累计三维形变时序曲线绘制。



五、基于全站仪的形变自动化监测技术

监测点形变量信息报表查询与输出。



五、基于全站仪的形变自动化监测技术

数据可视化子系统是一套在云服务器部署的网站数据大屏系统，实现了项目整体监测情况的数据及视频可视化。

监测项目总览

项目总数**4**个



红色预警项目 **0**个
黄色预警项目 **1**个
橙色预警项目 **1**个
正常监测项目 **2**个

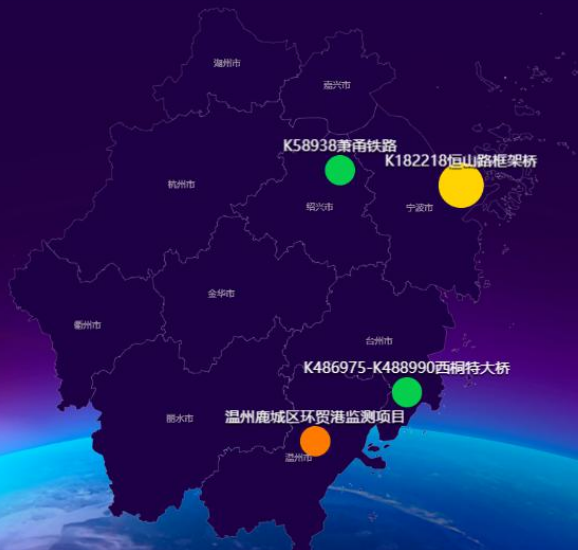
监测项目列表

- 4 贺港监测项目 温州鹿I
- 1 山路框架桥 K182218
- 2 K58938萧甬铁路

监测点总数
222个

正常监测点数
210个

预警点数
12个



预警处理情况

待处理预警事件 **2**件

预警测点分析图



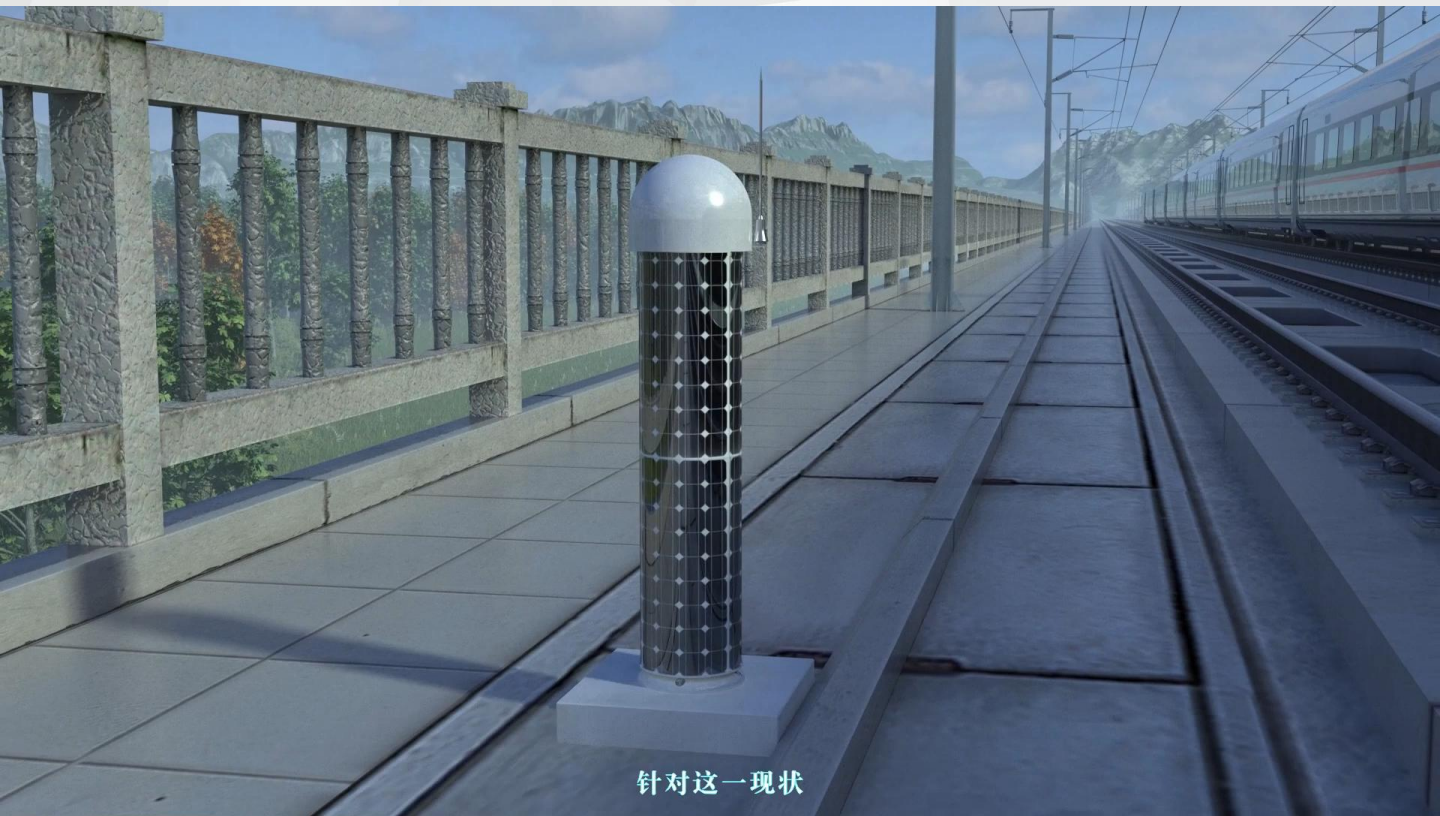
■ 正常测点 ■ 黄色预警
■ 橙色预警 ■ 红色预警

视频监控入口



六、基于北斗卫星的三维形变监测技术

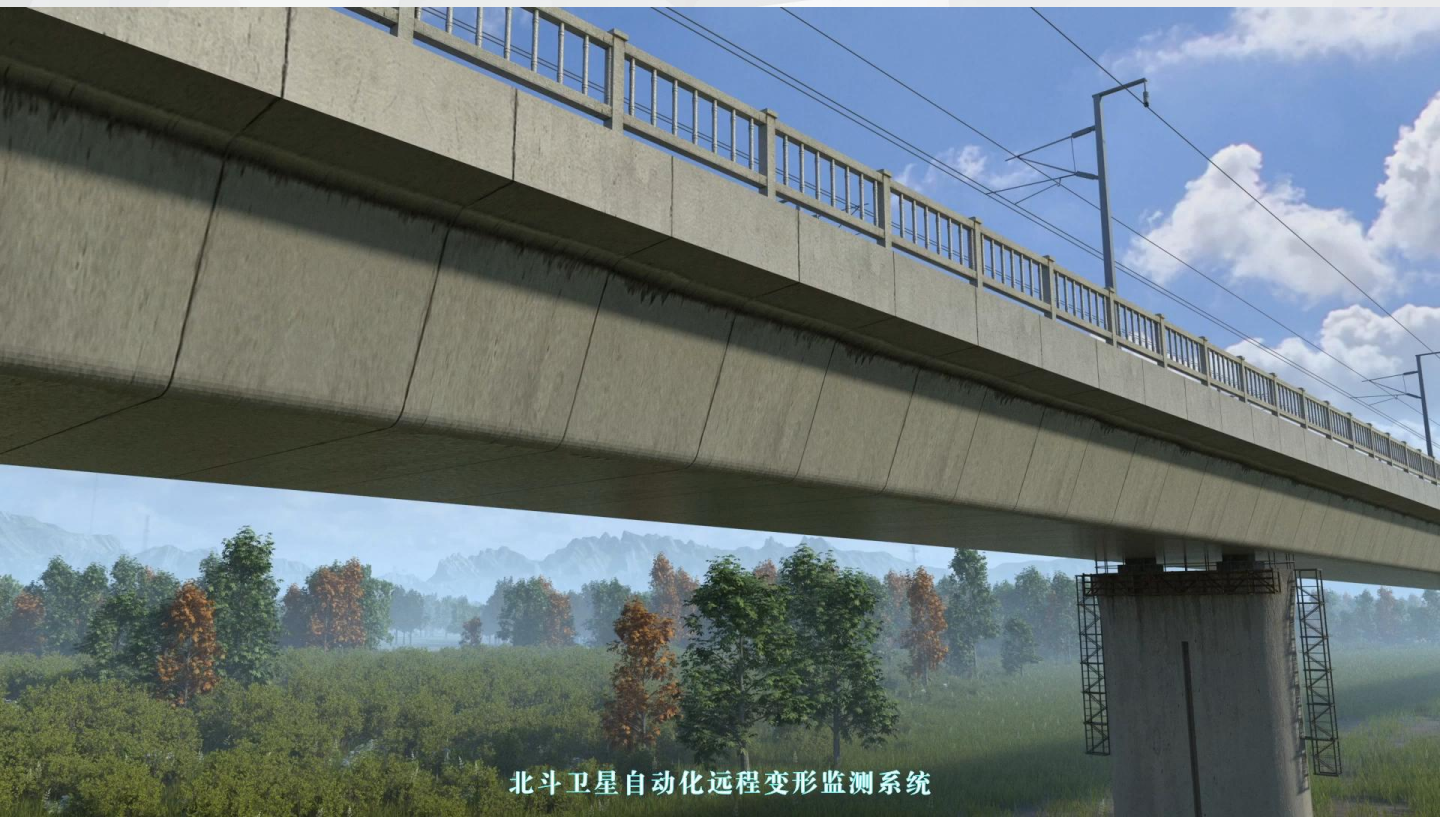
集成北斗卫星GNSS接收机、柔性太阳能板、5G通讯模块等设备。



针对这一现状

六、基于北斗卫星的三维形变监测技术

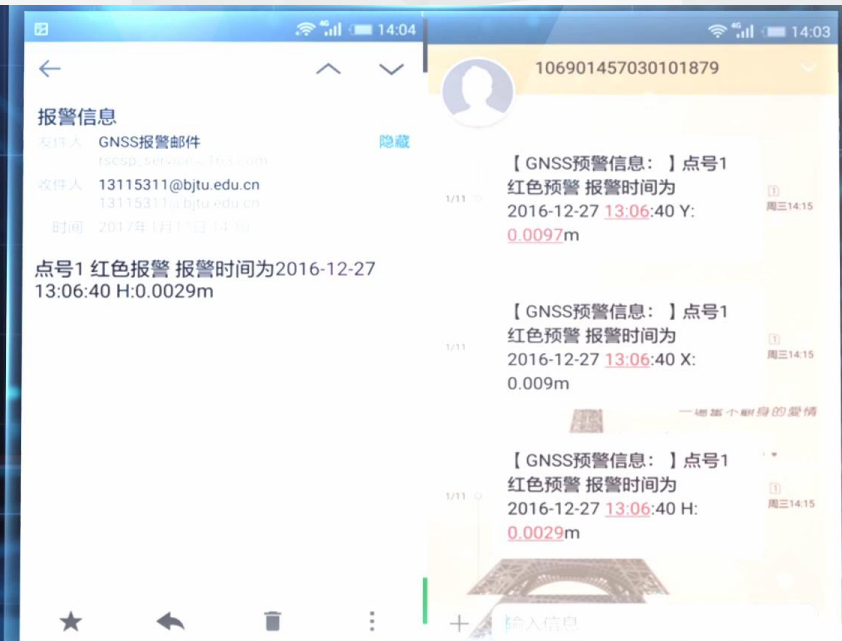
基于北斗卫星GNSS定位技术，实现高精度全天候三维形变监测。



北斗卫星自动化远程变形监测系统

六、基于北斗卫星的三维形变监测技术

针对桥梁、路基、大坝等构筑物，构建了北斗高精度位移探测模型。

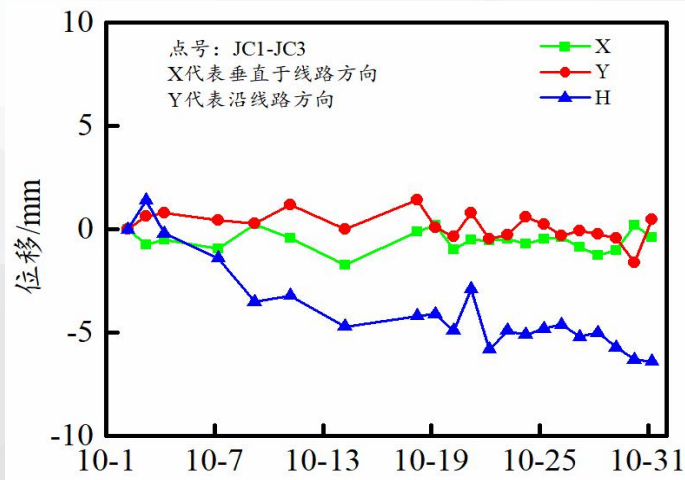
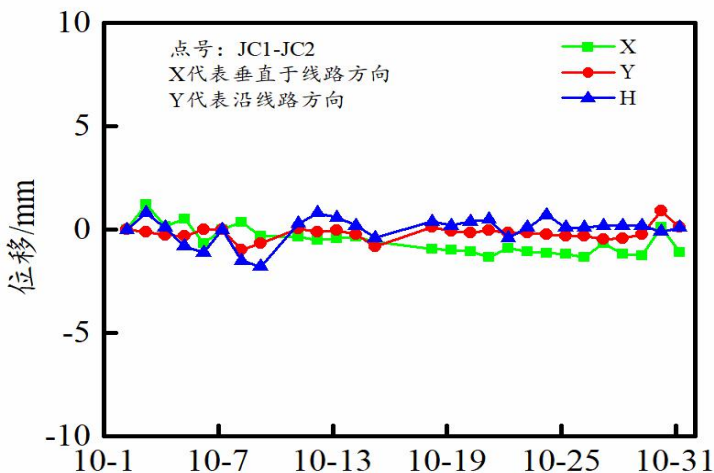


将为大型结构基础设施变形监测提供重要的技术支持

六、基于北斗卫星的三维形变监测技术

后处理平面精度可达1mm，高程精度可达3mm，实时精度小于10mm。

该软件内置北斗模糊度固定及北斗/GPS抗差移动窗口卡尔曼滤波算法模块，能很好地消除多路径效应、大气延迟等误差影响，确保监测精度。



七、基于MEMS传感器的形变监测技术

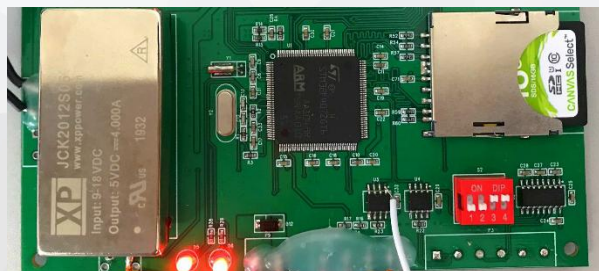
智能实时微机电传感器三维形变监测系统由加速度计、MCU及SP485芯片等组成，该系统即可测量空间三向敏感轴相对于重力的比力值，又可测量三向线性加速度值。



传感器模组



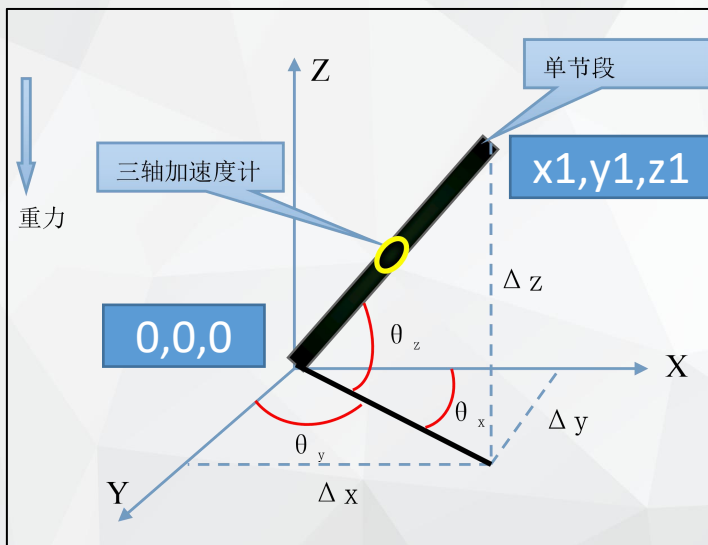
刚性节段及柔性关节



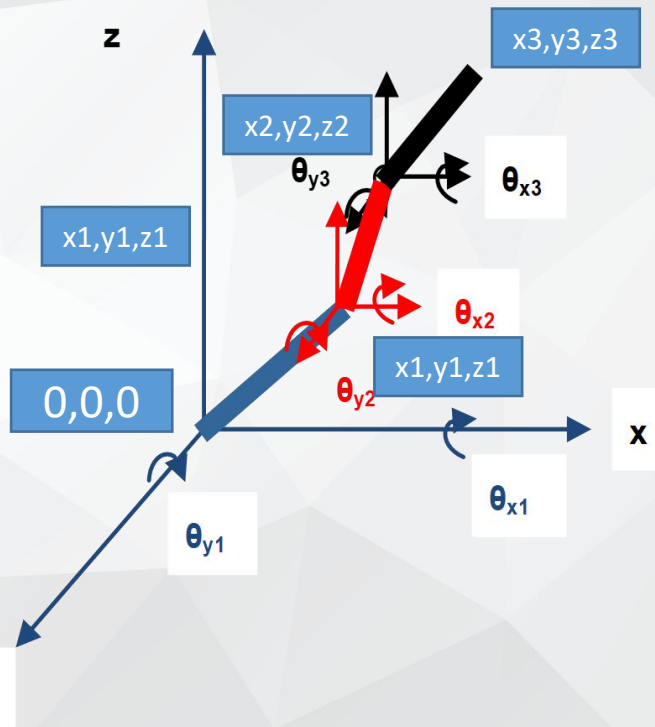
采集器主板

七、基于MEMS传感器的形变监测技术

将多个MEMS模组串联，标定后形成整体，32m长监测精度1.5mm。



单节段解算原理图



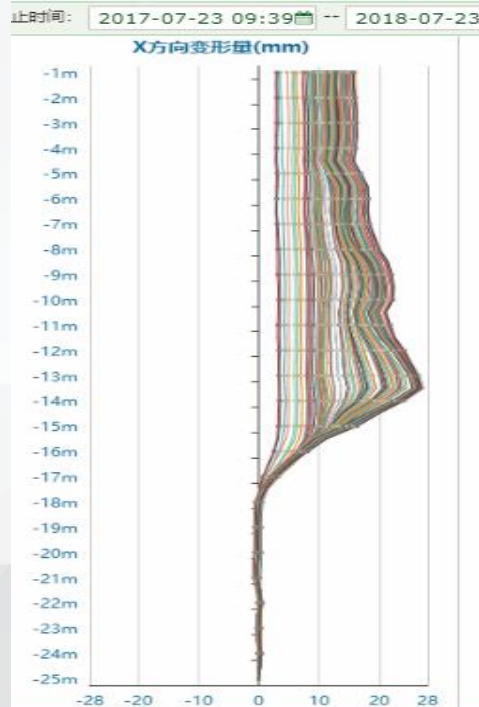
多节段解算原理图

七、基于MEMS传感器的形变监测技术

竖向布设，可监测三维形变，用于滑坡、基坑等深层水平位移监测。



竖向布设-监测设备装入测斜管



深层水平位移累计形变图

七、基于MEMS传感器的形变监测技术

水平布设，可监测垂向变化，用于路基、桥墩等沉降监测。



中国铁路设计集团有限公司版权所有

水平布设-桥墩及地面沉降监测

七、基于MEMS传感器的形变监测技术

150m长设备，6个连续高铁桥墩沉降变形监测数据，变化小于1mm



中国铁路设计集团有限公司版权所有

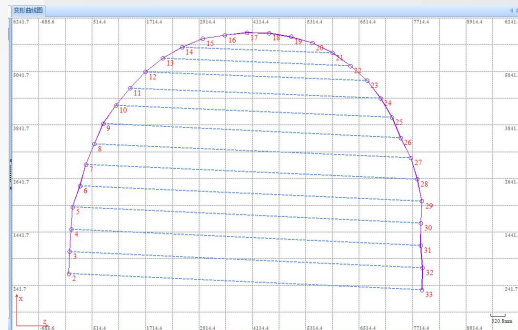
桥墩及地面沉降监测S-T曲线图

七、基于MEMS传感器的形变监测技术

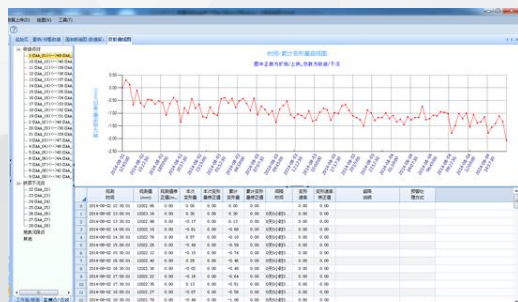
拱形布设，监测收敛变形，用于隧道、盾构的收敛和拱顶变形监测。



拱形布设-隧道净空收敛监测



收敛测线布设图



收敛监测S-T图

汇报结束

