引文格式：李振华. 国铁下穿隧道施工影响自动化监测方法研究[J]. 地理空间信息, 2023, 21(12): 103-106. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2023.12.025

国铁下穿隧道施工影响自动化监测方法研究

李振华[1]
（1. 中铁四局集团有限公司设计研究院，安徽 合肥 230022）

摘　要：随着城市轨道交通的快速发展，新建地铁隧道下穿既有国铁线路或场站工程越来越多，为了保证国铁运营和下穿隧道施工安全，需要对既有国铁线路进行安全监测。结合合肥市地铁4号线下穿国铁涉铁项目，首先系统全面地研究了国铁下穿隧道施工过程中的影响因素；然后设计并开发了基于云平台的智能全站仪自动化监测系统，实现监测数据的自动采集、远程传输、自动处理和分析工作；最后在系统中加入三维可视化分析模块，进一步提高系统性能，更加全面直观地展示监测区域变形规律和趋势。该系统在合肥市地铁4号线下穿国铁项目中的应用表明，提出的方法可以有效对铁路路基及轨道变形进行自动化实时监测，为国铁运营和下穿地铁隧道施工提供安全保障。

关键词：下穿地铁隧道；既有铁路；自动化监测；智能全站仪；施工安全
中图分类号：P258　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2023）12-0103-04

Research on Automatic Monitoring Methods of Underpass Tunnel Construction Influence on National Railway

LI Zhenhua[1]
(1. Design and Research Institute of China Railway No.4 Engineering Group, Co., Ltd., Hefei 230022, China)

Abstract: With the rapid development of urban rail transit, there are many new subway tunnels cross the existing national railway lines or stations. To ensure the safe operation of national railway and the safety of tunnel construction, it is necessary to monitor the existing national railway lines and their ancillary buildings. Combined with the project of Hefei metro line 4 underpass the national railway, we systematically and comprehensively studied the influence factors of construction process on the national railway firstly. Then,we designed and developed an automatic monitoring system based on intelligent total station. The system can realize the automatic data collection, remote data transmission, data processing and analysis. Finally, we addeda 3D visual analysis module to the system for further improvement of the system performance and more comprehensively and intuitively displaying the deformation laws and trends of monitoring area. The application of system in Hefei metro line 4 underpass the national railway project shows that the method proposed in this paper can effectively monitor and process the deformation of railway and surrounding buildings in real time, and provide safety guarantee for the operation of national railway and the construction of subway tunnel.

Key words: underpass subway tunnel, existing railway, automatic monitoring, intelligent total station, construction safety

随着城市轨道交通建设的开展，各种复杂的工程建设也不断涌现，既有国铁线路或场站与地铁隧道交叠便是其中之一。为了保证下穿地铁隧道施工过程国铁正常运营，就需要对下穿地铁隧道施工过程期间国铁场站地表沉降、路基变形、铁轨变形、周边建筑物变形等多个要素进行周期性连续监测，保障下穿地铁隧道施工安全和国铁正常运营[1-3]。

高精度智能测量仪器的出现为变形监测提供了新思路，促进了自动化监测技术的发展[4]。带电动马达驱动、程序控制和自动目标识别功能的智能全站仪，可以通过智能软件控制实现测量数据采集自动化，被广泛应用于变形监测领域。智能全站仪在自动化监测中占有重要地位[5-7]，是高精度变形监测领域不可或缺的仪器，但智能全站仪需要专业的软件控制才能实现测量自动化，且自动化测量技术的应用获取的数据量巨大，需要更加智能的软件进行数据处理和分析，为下穿隧道安全施工提供指导意见。因此，研究国铁下穿隧道施工影响自动化监测方法不仅具有广阔的应用前景，而且对国铁正常运营和下穿隧道施工安全具有重要意义。

收稿日期：2022-09-14。
项目来源：中铁四局集团有限公司科技研发项目（2021-62）。
作者简介：李振华（1978—），高级工程师，研究方向为变形监测，E-mail：764997179@qq.com。

鉴于此，本文结合合肥市轨道交通4号线天水路站至翠柏路站区间隧道下穿国铁涉铁项目，提出一种融合云平台与智能全站仪的国铁下穿隧道施工影响自动化监测方法，设计并实现了云平台监测软件系统，通过项目实际应用评估了该方法的有效性和适用性。

1 监测系统设计

合肥地铁4号线天水路站至翠柏路站区间线路经合肥东编组站北侧铁路专用线项目用地后，下穿合肥东编组站42股道群。合肥地铁4号线下穿隧道施工期间，合肥东编组站还需正常运行。为了保证国铁运营安全和地铁施工安全，需要对下穿隧道区间的国铁线路和周边建筑物进行连续监测。基于变形监测理论，以徕卡智能全站仪为主要数据采集设备，根据工程实际情况设计了基于云平台的自动化监测系统。

1.1 监测系统建立原则

根据工程实际情况和研究需要，国铁下穿隧道施工影响自动化监测系统依据以下原则建立：

1）研究地铁区间隧道下穿铁路过程中，国铁场站地表沉降变化特征和趋势；

2）分析既有铁路路基主体结构、铁轨及附属工程措施在下穿地铁隧道施工过程中的变形特征和规律，研究既有国铁线路对下穿地铁隧道施工影响的响应及反馈；

3）掌握周边典型建筑物的变形特征和规律，防止不均匀性沉降或位移导致建筑物结构破坏，引发安全事故；

4）顾及国铁场站环境复杂，为了不对国铁线路运营造成影响，需应用无人值守的自动化监测系统，系统具备数据自动采集、自动传输和自动处理分析等功能。

1.2 监测系统组成

采用基于云平台的物联网自动化监测系统，对监测设备、监测数据进行集约化管理；以计算机终端、手机客户端等形式为管理部门不同用户以不同权限层级的模式提供“智慧服务”，在风险事件条件下，及时通过手机短信、客户端信息等形式向用户提供预警和报警信息。

在工作基点上安置智能全站仪，在测站间的基准点上安置360°圆棱镜，通过后方和前方交会测量实现多测站组网观测；系统通信采用有线和无线相结合，数据采集模块与智能全站仪之间通过电缆连接，数据采集模块与服务器电脑之间采用无线通信，实现数据的远程传输。如图1为监测系统组织架构图，该系统利用CDMA通信网及因特网远程控制智能全站仪对监测点棱镜进行自动循环测量，并将监测数据通过监测终端传输至后台软件，由后台软件对监测数据进行解析、平差、运算、筛选，并绘制成工程所需的监测图表。

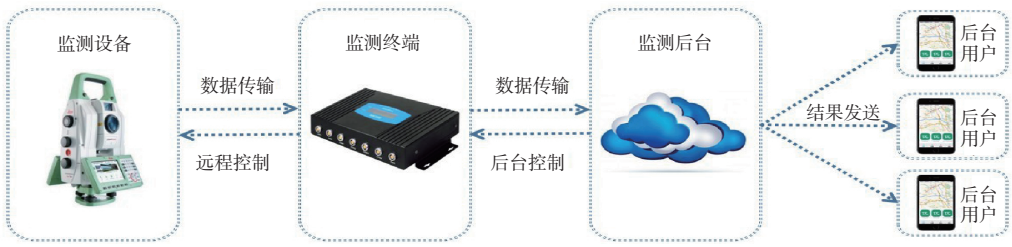


图1 监测系统组织架构图

1.3 监测系统功能

国铁下穿隧道施工影响自动化监测系统主要功能是实现对多台智能全站仪的控制，实现数据采集、数据传输、数据处理和分析的自动化。其主要功能如下：

1）通信参数配置：首先需要对网内各智能全站仪进行初始化，设置智能全站仪与计算机之间的通信参数，保持通信接口、波特率等数据一致。同时还需要检查测试网络通信是否完好，如果通信测试不通，系统将无法实现对智能全站仪的远程控制。

2）自动采集监测数据：自动采集监测数据是本系统的核心功能，对监测数据的自动采集主要包括学习测量和自动测量2个模块。学习测量需要人工粗略照准，帮助智能全站仪定位监测目标，通过学习测量可以获得各基准点和监测点相对于工作基点的位置信息（方位、距离），监测系统则可以通过这些信息引导智能全站仪实现监测目标自动定位，再通过智能全站仪的自动目标识别功能实现监测数据的自动采集。为了保证数据采集质量符合要求，严格按照《国家三角测量和精密导线测量规范》中的全圆观测法进行，监测数据限差需满足规范要求。

3）数据管理与分析：监测数据采集完成后通过数据传输功能传至服务器，系统能对数据进行自动化处理，获得监测点变形量，如果变形量超过设定预警值，系统通过手机短信、微信等方式进行实时预警。

2　自动化监测内容

下穿地铁隧道采用盾构法施工，盾构下穿期间，既有国铁列车仍需继续运营。为保证施工期间营业线的安全，需对施工过程中临近营业线30 m范围内的轨道几何变形、路基等进行自动化监测，对地表沉降、周边建筑物沉降及倾斜采用人工监测。通过及时采集监测数据，判别营业线的安全状况，为临近营业线施工提供数据保障，同时也为营业线的安全运营保驾护航。

1）接触网立柱监测。每根接触网立柱设2处监测点，现场共监测营业线内16根接触网立柱，营业线外北侧2根电气化立柱，共计布设36个测点。监测点采取反光标贴与立柱进行粘结，在立柱距地面0.5 m、2 m处布设一监测点。

2）灯桥立杆监测。每根立杆设2个监测点。现场共监测4根灯桥立杆，共计布设8个监测点。监测点采取反光标贴与立柱进行粘结，在立杆距地面0.5 m、2 m处布设一监测点。

3）轨道几何变形。轨道监测目的在于监测轨道的变形，其监测点直接布设在轨道上。沿铁路各股道纵向，每股道布置11个监测断面，监测断面间距5~10 m。共布设462个监测断面。每个监测布设监测点2个，左右轨各1个。轨道几何形位监测点共计924个。

4）铁路路基监测。盾构下穿铁路股道路基时，需对营业线影响范围内路基沉降进行监测。沿铁路各股道纵向，每隔1股道布置11个路基监测断面，监测断面间距5~10 m，共计242个监测断面。每个监测断面含2个监测点，左右轨各1个，共计484个监测点。

3　监测系统实现与应用

基于监测系统设计和监测需求，在Microsoft Visual Studio.NET平台利用C#编程语言实现了基于云平台的智能全站仪自动化监测系统。在完成监测系统开发后，将其应用于合肥市地铁4号线天水路站至翠柏路站区间隧道下穿国铁项目中，对铁路路基沉降和轨道变形进行连续自动化监测。

根据项目现场情况，按以下5个步骤执行自动化监测任务：

1）仪器选址与架设：为满足尽可能多的测量到监测点，仪器架设首选监测项目位置的制高点，其次应考虑智能全站仪的供电和防盗。因此，选择在股道外侧铁路设备单位办公楼顶上架设智能全站仪，由于本项目所用智能全站仪数量多，还需在营业线内架设观测墩。

2）埋设基准点：视点选择徕卡圆棱镜，埋设在施工影响区外的稳定区域。要求基准点组成的控制网范围须包含监测区域范围，且任意2个基准点与仪器间的夹角应大于15°。

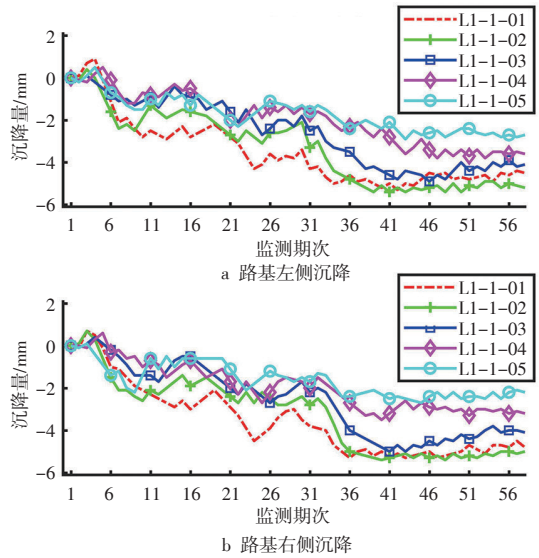
3）埋设监测点：监测点埋设按照上一节所述方法按规范要求进行埋设。需注意监测点埋设完成后，将小棱镜对准仪器方向并固定。

4）智能监测软件配置：首先新建项目，然后根据监测要求和相关规范配置限差和监测频率等参数，完成软件基本参数配置。

5）自动化监测：在完成软件配置和通信连接后，导入学习测量中获取的控制点、监测点和设站点数据，学习测量数据导入后，可以开展自动化监测，在监测状态栏右侧选择测量结果，查看监测点位移变化，监测结果只显示监测点点位变化数据，包括周期、日期、时间、坐标、位移变化量等监测成果。

3.1　铁路路基沉降时间序列

完成监测系统部署之后，对铁路路基所有监测点进行了58期（天）的连续自动化监测，以第一天获取的监测数据为基准，通过对数据进行处理获取了每天的变形值。为了直观地阐述监测系统应用效果，选取国铁营业线内5个路基沉降监测断面（每个断面2个监测点）数据进行了展示。盾构施工期间路基左右两侧各5个监测点沉降的变化趋势如图2所示，可以看出路基左侧与右侧变形趋势基本一致，在监测到第36期次后沉降趋于稳定，最大沉降量不超过6 mm。在盾构施工初期，路基沉降随施工进程逐步增大，监测点所在区域盾构施工完成之后一段时间内逐渐趋于稳



a 路基左侧沉降

b 路基右侧沉降

图2　路基沉降时间序列

定。值得注意的是，L1–1–3与L1–2–3这2个点从第41期到54期累积沉降值有减小趋势，变形曲线呈现出上升的形态，这可能是由于下穿隧道施工完成之后，隧道衬砌固化之后导致软性路基出现了轻微回弹。这2个点在同一个监测断面，分别为路基的左右两侧监测点，其中L1–2–3点沉降最大上升约为0.5 mm，变形量处于允许范围内，不对路基和下穿隧道施工安全构成影响。

3.2 铁路路基沉降三维可视化分析

铁路路基沉降时间序列分析结果表明沉降在施工结束后一段时间内逐渐趋于稳定，为了更加直观地获取整个监测区域铁路路基沉降变化趋势及变形规律，在监测系统中增加了三维可视化分析模块。按一定时间间隔选取了第1、6、11、16、21、26、31、36、42期的监测数据构建三维可视化模型见图3所示。

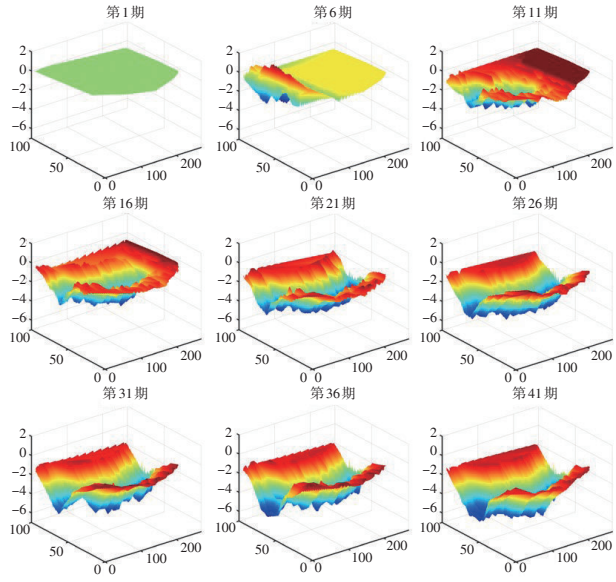


图3 路基沉降三维可视化模型

从图3可以看出，下穿隧道刚开始施工时，靠近施工区域出现局部变形（第6期），随着下穿隧道盾构施工的进行，沿隧道施工方向逐步出现“沟状”变形（第11期），且“沟状”变形逐渐变长（第11期到第16期），到第21期时，出现了一条贯穿监测区间的“沟状”变形，但变形量较小，最大沉降量约为4 mm。在盾构施工完成后，铁路路基在一定时间内依然出现了持续沉降，但沉降速率减小，且趋于稳定。从图3可以看出，从第21期到第41期，“沟状”变形形态没有发生较大改变，说明变形主要由于下穿隧道施工引起，且距离下穿隧道中线越近，变形量越大，反之越小。

为了进一步分析其变形规律，分别获取了铁路路基沉降的一个横截面和纵截面（图4）。可以看出，其变形规律与下穿隧道施工节奏一致，且最大变形量小于6 mm，没有对既有铁路运营和施工安全造成威胁，说明本项目中工程防治措施较好，可以为后续类似项目提供重要参考。

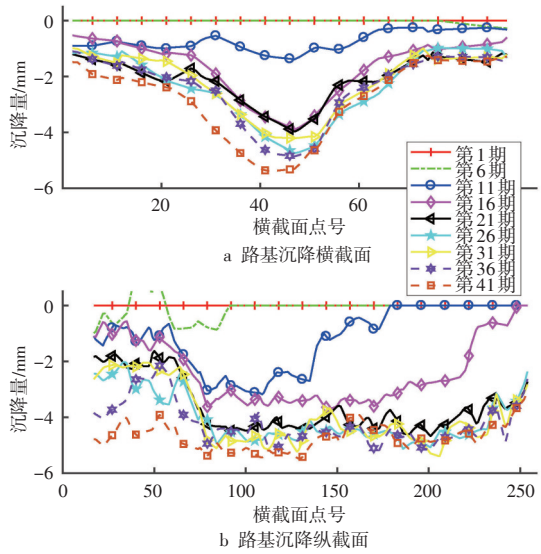


图4 路基沉降断面图

4 结 语

三维可视化分析模块可以进一步提高监测系统性能，更加直观、全面地展示监测点变形规律和趋势。本文论述的监测方法及其工程应用，可以为复杂环境国铁下穿隧道自动化监测积累经验和技术，促进监测自动化、智能化发展，保障既有国铁线路运营和下穿地铁隧道施工安全。在后续研究中可以进一步融合多源传感器，开展自动化监测系统及多源数据融合方法研究，为同类型项目提供更加全面的监测保障。

参考文献

[1] 赵宇鹏,陈道政. 盾构隧道上跨施工对既有隧道变形的影响研究[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版),2021,44(11):1 525-1 530

[2] 任艳超. 地铁大跨隧道下穿既有城市道路隧道施工风险评估及控制[J]. 建筑结构,2021,51(增刊):1 741-1 747

[3] 李卫华,张生杰,洪小星,等. 基于监测数据的某地铁基坑渗漏风险评估[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版),2022,45(1):60-66

[4] 张文,黄声享,李洋洋. 基于测量机器人的自动化变形监测系统设计与实现[J]. 测绘工程,2018,27(2):37-41

[5] 靳羽西,纪万坤,孙立坤. 多台测量机器人监测系统在地铁隧道中的应用[J]. 北京测绘,2020,34(10):1 338-1 342

[6] 陈龙浩. 基于测量机器人水利工程沉降变形监测精度分析[J]. 安徽建筑,2022,29(1):178-179

[7] 郑晖,付凯. 基于Android的基坑变形自动化监测软件设计与实现[J]. 地理空间信息,2022,20(7):120-123