

轨道交通监测新技术的应用与实践

周本辰

上海勘察设计研究院(集团)股份有限公司,上海市,200093;

摘要: 本文以上海轨道交通某标段车站A、B深基坑工程为背景,系统研究了自动化监测技术在复杂轨道交通工程中的创新应用与挑战。针对传统人工监测效率低、数据时效性不足等问题,从传感器设计、自动化采集方式等方面创新应用。研究结果表明:自动化监测设备具有准确测量的能力,但需结合产品质量控制优化。最后从产品品控、经济性等方面进行分析,为同类工程进一步应用提供参考。

关键词: 轨道交通,自动化监测,基坑监测,工程测量

DOI: 10.64216/3080-1508.25.03.014

引言

从上海第一条轨道交通建设开始,工程监测一直是控制基坑工程风险的重要手段之一。经过多轮建设的探索,当前上海轨道交通第三方监测从方案设计到实施标准都已经较为成熟。新一轮上海轨道交通建设具有工程难度大、风险高特点,自动化监测的应用势在必行,同时提升关键监测项目数据准确性对风险控制极为重要。本文以上海轨道交通某标段车站基坑监测的应用创新为例,总结经验与思考。

1 项目概况

车站A总长度190m,标准段宽度19.8~25.4m,基坑深度约23.23m。车站主体围护结构采用地下连续墙+双层衬砌结构,地下连续墙采用十字钢板接头,地墙插入比0.85~0.98。车站设置六道支撑,第一、四道为钢筋混凝土支撑,其余为钢支撑,整体分层放坡开挖,不单独设置分区。周边建构筑物以商业与医院为主,上水、燃气等管线距离基坑较近,且多为改排管线,具有一定的环境风险。基坑安全等级为一级,环境保护等级为二级,监测等级为一级。根据监测评审方案,现场布设墙顶位移41点、测斜孔39孔、水位12孔、轴力72组、立柱26点、坑外地表竖向位移102点、管线竖向位移106点、建构筑物竖向位移59点。由于车站A主体放坡开挖不分区,开挖后监测频率1天1次,按管理要求每天上午须完成以上所有监测工作,开挖深度15m后监测频率1天2次,监测工作量翻倍,对实施成本、质量和效率都是巨大挑战。为提高效率、保质保量的完成监测任务,车站A基坑深层水平位移采用9组自动化监测,支撑轴力及地下水位监测均采用自动化监测技术。

车站B车站净尺寸为200.7m×18m。基坑深度约18.97m。围护结构选用800mm厚地下连续墙,采用GXJ接头,插入比0.62~0.85。标准段及南端头井基坑设置五道支撑,北端头井设置六道支撑,车站主体分为1~4号基坑分期施工。周边建筑物以民用房屋与市政地下通

道为主,车站主体与地下通道平行布置,车站主体与地下通道最近距离2.8m。基坑安全等级为一级,环境保护等级为一级,监测等级为一级。根据监测评审方案,现场布设墙顶位移53点、测斜孔47孔、水位16孔、轴力21断面、立柱25点、坑外地表竖向位移124点、管线竖向位移140点、建构筑物竖向位移81点,按施工顺序分区监测。虽单次监测工作量不及车站A,为更加及时的掌握地下通道一侧的深层水平位移情况,地下通道一侧深层水平位移监测共16孔,采用自动化采集的方式,同时轴力与水位也均采用自动化监测。

2 新技术应用

2.1 深层水平位移自动化监测

当前自动化测斜产品主要分为四类:自动提升式测斜、阵列式位移计、固定式测斜、分布式测斜。车站A、车站B深层水平位移的自动化设备主要采用自动提升式测斜仪。

自动提升式测斜仪基于工业电动马达控制传感器探头在测斜管内上下移动,获取不同点位传感器角度变化,进而换算到地墙变形。自动提升式测斜仪主要由主机和探头构成。主机安装在孔口之上,一般根据场地情况采用凸起式或埋入式安装。由于车站A场地较为狭小,地下连续墙充当部分栈桥功能,测斜管位于坑外施工便道上,主机安装在地面不但难以保护且妨碍施工车辆正常作业。车站A部分测孔可通过凿除表面混凝土将主机下沉至路面以下,再在表面留槽盖上厚钢板,但绝大多数测孔位置并不具备采用埋入式安装的条件,需要设计特殊保护装置来确保设备在高出地面的情况下的使用安全,同时不妨碍现场施工作业。

保护装置的设计需考虑以下因素:一是现场最重的行走设备为100t履带吊,保护装置需要确保能承受100t履带吊的碾压及重型机械从上方移动时对保护装置产生的侧移;二是需要具备检修孔,方便仪器维护修理;三是考虑运输安装的可操作性,以及后续流转的便利性;

四是保护装置的经济性。最终设计保护罩由多个大小不一、中心开孔的厚钢板叠加后焊接而成，上部叠加一层帽状的检修盖，通过螺栓将保护罩与地面连接，来确保重型机械可站立，且保护装置受外力后不产生侧移。

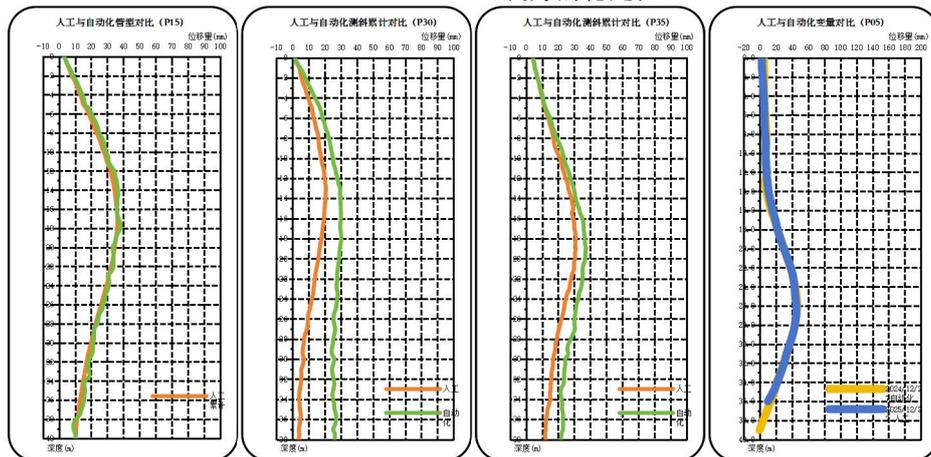


自动提升式测斜仪保护装置

根据现场安装条件，车站 A 主体基坑 37 个测斜孔中，9 个采用自动提升式测斜仪，监测频率设置为 2 小时一次。自动化测斜仪在捕捉变形速率方面表现较好，对于无支撑暴露时间过长的位置不仅能正确反应出数据突变，且由于监测频率较高，能够精确反应出不同深

度在不同施工工序下发生的变化量，参建各方对自动化测斜速率信服度较高。由于 9 台自动化测斜仪全部应用在正孔，无备用孔进行对比实验，现场在自动化设备安装前通过人工测斜仪对管型进行了记录，并在监测过程中阶段性的将自动化测斜仪取出，通过人工测斜仪重新测得变化曲线，与自动化设备测得的成果进行同孔比对。在对比实验中，发现自动提升式自动化监测数据出现孔底外飘的现象，与人工差异值在 2mm~32.1mm。经过与仪器厂商的分析，认为进口传感器芯片存在合格率的问题，导致部分自动化设备孔底累计误差明显。

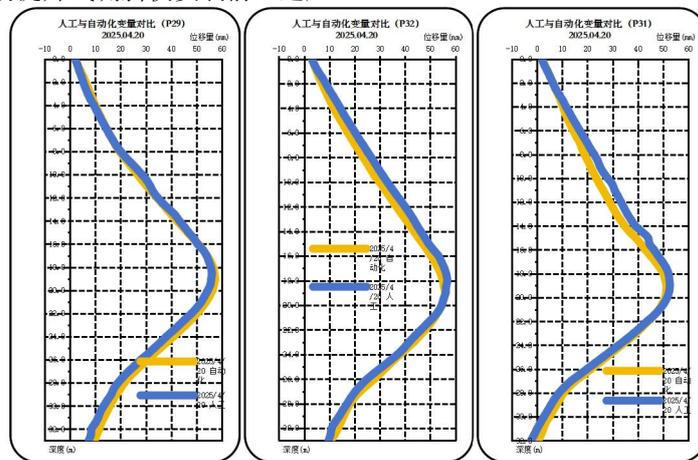
此外，车站 A 主体基坑中，安装了一组分布式自动化测斜仪在备用孔中，当基坑开挖完成后，对分布式自动化测斜仪的数据与旁侧人工孔数据进行比对，最大差异不超过 5mm，比对效果较好。但由于本项目对分布式测斜仪应用数量较少，且试用的仪器为厂家旧仪器（经过其他工程验证筛选），仅能认为当前分布式测斜仪在技术路线上具备测准的能力，无法证明此类型产品具有良好的稳定性。



自动化测斜仪在车站 A 中的应用成果 (1-3 为自动提升式, 4 为分布式)

车站 B 主体基坑由于距离需保护的地下通道仅 2.8 m，靠地下通道侧共 16 孔测斜采用新一批次的自动提升式测斜仪，新一批次的自动提升式测斜仪安装前经过厂

家稳定性筛选验证。车站 B 开挖过程中自动化监测数据与人工验证数据吻合度较好，最大差异未超过 5mm。



自动提升式测斜仪在车站 B 中的应用成果

2.2 轴力自动化采集

车站A轴力监测全部采用自动化采集箱进行采集,高效解决轴力采集问题,高频率采集与施工工序的匹配性也更加的准确,但自动化采集箱在安装时传感器的导线较长,导线在基坑开挖阶段容易被掉落的渣土或钢支撑吊装时碰断。车站B轴力监测全部使用4通道采集盒,采集盒安装在表面应变计就近位置,减少了导线走线长度,减少了安装难度的同时也减少了施工过程中的破坏



轴力自动化采集 (1 自动化采集箱 2 四通道自动化采集盒 3、4 自动化水位计)

3 结论与思考

本标段车站A、车站B在测斜、轴力、水位三个测项中均采用了自动化监测,其中自动化测斜应用比例达33%(含分布式自动化测斜),轴力、水位监测自动化比例100%。通过两座地下车站新型感知与采集技术的尝试与应用,有以下几点思考:

1. 不同自动化测斜设备类型中,自动提升式与分布式测斜仪技术路线相对成熟。但受MEMS芯片良率影响,仪器的精确度也存在较大的不稳定性,需择采用有效的检验方法优选择芯片。

2. 当前行业对自动化设备的属性并未明确定义,传感器、采集器是否属于计量仪器、是否需要定期进行检定都需要进一步明确。且自动化设备一般用量较大,按当前市场上的检定费用计算,将是较大的一笔支出。

3. 无论是自动化监测技术还是传统人工监测技术,本身都是不完美的,在应用层面更多的是考虑监测技术的优缺点对具体的工程情况而言是否适用。从推动技术革新的角度而言,主动应用才能够尽快的进行优化,也有利于形成更具有指导意义的规范标准。从工程风险的角度,当前阶段对于自动化数据的人工解析与定期复核是极具必要性的,同时也应考虑自动化数据人工复核频率的可行性,真正达到利用自动化监测技术减少人工工作量的目的。

4. 本标段应用的自动化监测比例较高,已经具有减

风险。

2.3 水位自动化监测

车站A与车站B水位监测全部使用无线一体化自动水位计,采集频率设置为1小时1次。自动化水位计具有安装方便、长续航的特点。数据可通过无线传输或现场读数两种方式,且埋入式安装不妨碍施工,也减少了传统监测方法中水位孔被压导致无法监测的问题。

少人工的效果。但在经济性分析时发现,对于监测数据时效性要求高的项目或大型超深基坑项目,只有在自动化能够替代整数倍人工工作量时,才具有减少现场人工成本的效果;对于一般类项目,在没有高频次采集的要求下,测斜采用自动化的意义并不大。而当前对于单个项目来讲,自动化测斜应用成本仍然远高于同等工作量的人工成本,从经济性方面并没有体现出明显的优势;对于公司级规模化应用而言,需要着重考虑自动化设备的流转效率,统筹协调才能最充分的发挥设备价值。

5. 自动化设备厂商均开发了对应的数字化监测平台,用以自动化监测设备的配置、数据解算与展示。但需要注意的是,数据采集与数据解算分析是不同的工作类型,对单位、人员资质具有不同的要求,在监测工作中需要承担的责任也有很大区别,需要明确区分设备厂商与监测单位在监测工作中的工作界面。

参考文献

- [1]上海市交通运输行业协会. T/SHJX 069-2024 城市轨道交通工程自动化监测技术标准[S]. 上海:上海市交通运输行业协会,2024.
- [2]秦波. 轨道交通保护监测的自动化监测技术分析[J]. 建筑实践,2021,2(6):1-5.
- [3]张春节,魏力,王欢. 自动化监测技术在地铁基坑变形监测中的应用[J]. 价值工程,2020,39(22):216-217.