

地下管廊周边地质环境在线监测技术应用分析与探讨

高顺喜

上海市岩土工程检测中心有限公司 上海 200436

摘要:通过对管廊监测技术的需求分析,结合具体项目现场的实际情况,设计与完成一套完整的地下管廊周边地质环境在线监测系统。该监测系统实现了数据实时传输、实时分析和实时监控,监测数据展示界面基于微信小程序建立,用户可方便快捷查看数据变形情况。在系统运行过程中也出现了相应技术问题,对遇到的问题进行了分析与探讨。

关键词:地下管廊;自动化监测系统;实时监控

Application analysis and discussion of on-line monitoring technology for geological environment around underground pipe gallery

Gao Shunxi

Shanghai Geotechnical Engineering Testing Center Co., Ltd. Shanghai 200436

Abstract: Based on the demand analysis of monitoring technology of underground pipe gallery and the actual situation of specific project site, a complete online monitoring system of geological environment around underground pipe gallery is designed and completed. The monitoring system realizes real-time data transmission, real-time analysis and real-time monitoring. The monitoring data display interface is established based on WeChat applet, and users can view the data deformation conveniently and quickly. In the process of system operation, some technical problems also appeared, and the problems encountered were analyzed and discussed.

Keywords: underground pipe gallery; Automatic monitoring system; Real-time monitoring

地下管廊是建造在城市地下的一种类似公共隧道的构筑物,供水、排水、燃气、电力、通信等各种市政管线在此空间内统一接受集约化建设和管理,实现地下空间的综合利用和资源共享。

2018年以来,上海有三个综合管廊建设试点区,分别位于临港地区、松江南部大型居住社区和普陀桃浦及真如地区,其中松江南部新城规划管廊总长度24.7公里,总投资约35亿元,为上海最大规模的综合管廊试点工程。本文即根据已基本建成的松江南部新城综合管廊(一期)项目的管廊类型、空间位置、地质环境等情况,采用在线自动化监测系统来代替传统的人工监测,实现对地下管廊运营期间周边地质环境,尤其是土压力平衡状态的实时管理。

1 在线监测系统设计基础分析

1.1 管廊现场基本地质条件

项目位于上海市松江区,处于典型的软土地区,在地面下普遍分布有厚层软粘性土,其具有高含水量、孔隙比大、强度低、压缩性高等不良工程地质特性,且软土还有低渗透性、触变性和流变性等特点,开挖易受扰动,强度会有所降低,容易导致土体变形。项目沿线有多处暗浜与明浜,勘察期间水面标高2.71m~2.73m,水深0.30m~3.90m,淤泥厚约0.20m~1.90m,淤泥底部标高约-1.99m~1.83m。

1.2 自动化监测方案设计重点

总体监测方案必须能够有效把握监测对象的重点参数变化,对松江管廊项目,需要考虑以下几点:

(1) 线性工程沿线不均匀地质变化较大:收集到的地质勘察报告中虽然已按规范的有关规定布设了勘察孔位,但还不能全面反映地基土层的变化情况。如地基中存在尚未发现的暗平浜、古河道、古墓、古井等不良地

表1 危险源及对应最不利工况分析表

序号	危险源	拟监测项目	对应最不利运行工况
1	土质条件不同造成的不均匀沉降	地表位移监测 土体分层沉降监测	地表开裂、廊体产生裂缝、管线损坏、箱外土体不规则扰动
2	临近施工造成的周边土体沉降	土体深层水平位移监测 土体分层沉降监测	地表开裂、廊体倾斜、管线损坏、箱外土体不规则扰动
3	廊体密封性不够，地下水渗漏	水位变化监测 土体分层沉降监测 土体深层水平位移监测	地表开裂、廊体开裂、漏水、临近土体沉降、管线损坏、箱外土体不规则扰动
4	局部地质条件差造成的持力层沉降	地表位移监测 土体分层沉降监测	地表开裂、廊体整体沉降、倾斜、管线损坏、箱外土体不规则扰动
5	顶板荷载超限	地表沉降监测	地表开裂、廊体沉降、错缝、管线损坏、箱外土体不规则扰动

质体；

(2) 周边规划用地较多：附近桩基施工、降排水、挖土等施工作业相对比较频繁，容易引起管廊侧壁土体、上部土体以及地基的附加应力变化；

(3) 管廊使用环境：项目涉及的三段综合管廊大多分布在新建道路路边绿化带下，少部分位于人行道下。管廊建成后，一侧为大量规划用地，一侧为多车道路，长期的静动荷载不均，间接引起管廊地基的不均匀沉降；

经调研与分析，本项目重点危险源监测见上表1。

1.3 自动化监测项目选取

根据危险源分析，监测项目应包括四个方面：

- (1) 管廊临近土体深层水平位移；
- (2) 管廊临近土体分层沉降；
- (3) 管廊临近水位变化；
- (4) 管廊上方地表沉降。

当各项监测数据发生突变或异常情况时，可通过结构本体的监测项数据，以及排查现场有无明显结构性破坏加以验证和判断^[1]。表2是本监测系统监测项目与管廊本体监测项目对比。

表2 本监测项目与结构本体监测项对照表

本项目监测项	结构本体监测项
土体深层水平位移	管廊倾斜
土体分层沉降	管廊侧墙倾斜、管廊裂缝
水位变化	管廊内部湿度、管廊裂缝
地表沉降	管廊顶底沉降、管廊裂缝

2 在线监测系统总体设计

管廊在线监测系统是一个涉及面广、采集项目多、设备种类差异较大的项目，多种设备在一个系统中同时运行，通过合理布置，统筹管理，使该系统健康、高效的运转。我们本项目在线监测系统的功能目标为：

(1) 实现远程自动化监控，无需人员多次进入施工现场；

(2) 实现无线传输，无需长距离布线线缆、光缆；

(3) 通过传感器得到丰富的荷载效应等数据，通过系统分析与处理，得出管廊结构实际情况下的实时状态变化发展趋势，了解管廊结构的安全状况；

(4) 实现监测数据信息化管理，相关人员可以通过不同权限登入以太网或者利用手机实时获取现场结构安全数据及安全评估信息；

(5) 出现异常信息时，系统能自动进行预告警，并可通过微信或短信等方式将信息及时转达给相关管理人员，并提示后台及时对结构当前状态进行安全评估^[2]。

3 监测项目实施

3.1 测点总体布置原则

管廊项目自动化监测设备布置的基本考量如下：

(1) 将四个不同测项布置在一起组成一个监测断面；

(2) 为保持一定密度，同一测项纵向水平布设间距约100米；

(3) 遇明浜、暗浜、路口、工作井、河道等特殊地质状况时加密布设；

(4) 管廊上方地表沉降点布设在管廊主体结构正上方；

(5) 管廊临近土体深层水平位移、分层沉降及水位监测孔平面位置上应位于道路红线和管廊围护体之间；

(6) 管廊临近深层水平位移深度、分层沉降深度均为临近管廊围护体深度加5米，遇明浜、暗浜等土质较差区域，深度为临近管廊围护体深度加10米，根据项目所在地自然水位和管廊体立面结构，设计管廊临近水位监测孔深度为8m。

3.2 监测频率与监测预警

鉴于本项目影响管廊安全的主要因素是临近建设工程基坑施工的影响，因此监测频率参考上海市建设规程《基坑工程施工监测规程》(DJ/TJ 08-2001-2016)，见表3；监测预警见表4。在实际应用中，综合考虑物联网传感器的供电、通信等因素，我们正常选取的测量频率为1小时1次。

表3 各监测项目监测频率参照表

监测项目	监测频率（依据工况）	
	一般情况	数据报警
周边土体深层水平位移	10min ~ 24h 建议根据实际变形情况动态调整	较正常加密
土体分层沉降监测		
水位变化		
地表沉降		

说明：现场监测将采用定时观测与跟踪观察相结合的方法进行；监测频率可根据监测数据变化大小进行动态调整。

表4 监测报警值参考表

监测项目	警戒值	
	日变化量（mm）	累计变化量（mm）
土体深层水平位移	3	40
土体分层沉降	3	30
水位监测	300	1000
地表沉降	3	40

3.3 监测传感器选取

3.3.1 土体深层水平位移传感器

管廊运营维护期间，由于临近基坑施工较多，通过钻孔的方式，在管廊的侧壁临近土体埋设相应的深层水平位移监测传感器，当内部有位移变化时，测斜探头传感器随之倾斜，信号电缆引入地面仪表连接测试，从而可精确测出水平位移量 Δx 、 Δy 或者倾角，从而计算出水平位移量 Δx 、 Δy ，然后通过级联的几何运算得到各个监测土层的位移值，做出预报。

本次监测系统完成后的固定测斜仪选择体验是：

(1) 测量范围不需要大， $\pm 15^\circ$ 量程即可满足监测需要；

(2) 由于安装导致的测量误差远远大于传感器自身误差，选择能满足规范要求的固定测斜仪即可，我们选择的精度是 $\pm 0.25\text{mm/m}$ ；

(3) 测量杆的强度要高，这样才能保证测量杆与管型的匹配，减少安装误差；

(4) 鉴于长期浸泡在水下工作，防水等级要高，需要提供每个产品的测试报告，耐水压不低于 1MPa ，且固定测斜仪电缆需要全内置保护^[3]；

(5) 在安装时，有可能现场道路没有固化，作业条件恶劣，对固定测斜杆要求是重量轻，安装方便，1到2个人就能完成安装才好。

3.3.2 土体分层沉降传感器

在管廊的侧壁临近土体埋设相应的土体分层沉降监测传感器，然后通过自动化监测平台将设备反映出的土体分层竖向位移准确的数据及时展示出来。土体分层沉降监测传感器主要分为振弦式传感器和低压拨弦式传感器，我们选择低压拨弦式，它的优势是适应自动化监测时高频度的拨弦。

本次监测系统完成后的土体分层沉降传感器选择体验是：

(1) 传感器必须对应低压拨弦；

(2) 监测系统必须支持传感器标定参数全部对应；

(3) 需要对响应信号的强度做出要求；

(4) 配套的振弦信号采集仪通用性要好，能对应多家公司同类传感器。

3.3.3 地下水位传感器

地下水位传感器有多种选择，例如基于水压力的投入式有源压力计和无源振弦式渗压计，考虑仪表的寿命与可靠性，我们选择振弦式渗压计；在实施时，通过在土体里钻孔，安置测压管，把渗压计放置在测压管里。

本次监测系统完成后的土体分层沉降传感器选择体验是：

(1) 无源的振弦传感器必须对应低压拨弦；

(2) 能否简化渗压计安装方式，渗压计与固定测斜仪可能可以使用一个测量孔，需要进一步确认；

(3) 鉴于水压测量技术稳定，选择传感器时主要考虑性价比。

3.3.4 地表沉降传感器

基于经济性考虑，地表沉降监测传感器布点间距在200米左右，明浜、暗浜、路口、穿越河道处，间距会适当减小。由于通视条件的限制，光电设备很难在现场全面采用；为此我们选用了一种新型超声波静力水准仪；高精度的液位测量（单点 0.01mm ）和采用的特殊液面传导液体，保证了系统测量精度。

超声波静力水准仪传感器指标为：

(1) 无机械活动器件，超声波测液位，精度 0.01mm 液位变化，测量精度 0.1mm ；

(2) IP67 防护等级宽电压供电 DC5-36V；

(3) 抗电磁干扰能力强；

(4) 内置倾角传感器，可识别设备安装状态。

经测试，在200米的静力水准连通系统中，液面稳定时间在2小时左右，测量精度1mm，能够满足系统设计的要求。

3.4 现场数据采集终端选取

根据项目特点，设备选取的原则如下：

(1) 选择低功耗现场设备，使用外部直流5V或者12V供电，设备直接给传感器供电，减少现场工作量；

(2) 能够支持无线通信网络，由于需要传输的数据比较少，支持2G到4G的均可，可根据使用成本决定；

(3) 采用支持GNSS定位的设备，这样不仅能在系统上显示监测点的位置，更重要的是在GNSS授时的支持下，能同时完成整个监测点的监测；

(4) 能够适应恶劣现场，防尘，防水，防护等级不低于IP67；

(5) 便于施工与现场管理，所有无线天线最好全内置。

4 现场实现效果

4.1 现场集成测试箱

测试现场为分布式数据结构，每个监测断面数据均为独立采集，独立传输，大大提高了系统可靠性。

每个监测断面包括1套数量不等的固定倾斜测量杆(数量由测量深度决定)，2点振弦式分层位移计，1点水位和1到2个静力水准仪；3种类型的传感器使用3个不同数据终端对应，每个数据终端自行传输采集数据到云端监测系统。

对应配套使用的电源、数据采集终端安装在一个集成测试箱内，集成测试箱防护等级为IP67。

4.2 基于平台的数据处理

平台数据处理系统组成：

(1) 监测数据采集设置一组服务器；

(2) 系统软件采用B/S架构；

(3) 每个现场数据采集终端均独立通过无线数据网向服务器发送数据；服务器能直接连接现场各个采集终端，完成整个监测系统的设备管理；

(4) 服务器间实现监测数据的备份；实时采集的监测数据可以送到客户或(和)监测单位数据服务器进行备份；

(5) 运行于监控端的监测程序对原始数据进行处理，并将结果存在服务器；

(6) 用户通过监控端程序完成对监测系统的管理；

(7) 生产的监测报表，推送给勘察院关联人员审核后对外发行；

(8) 用户和管理员可以通过微信小程序，通过微信系统与监测系统服务器交互获得自己权限内业务数据观察与预警。

4.3 基于微信的手机应用

如何方便的使用现场数据一直是监测单位的难题，本次我们尝试使用微信小程序来完成数据的呈现、权限的管理；我们的设计理念是只用会用微信就会使用我们的监测系统；只要微信会添加朋友，就能在业务程序上添加业务合作伙伴；只要会建立微信群聊就会建立我们各级权限的业务群^[4]。

我们在手机上呈现的数据界面、曲线界面、预警界面，均按照上海市建设规程《基坑工程施工监测规程》(DJ/TJ 08-2001-2016)要求执行，显示时间、地点、工程名称、测点名称、当前测试值、累计值、变化速率；所有坐标比例尺均可修改。下面是本项目的一些典型界面，供参考。

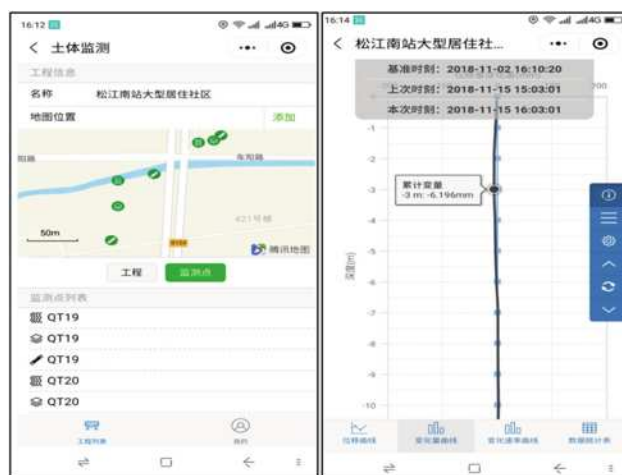


图1 微信平台测斜数据界面



图2 微信平台竖向位移数据界面

5 现场遇到问题与对应

5.1 固定测斜仪数据跳动与对应处理

在原理上，由于固定测斜仪埋设在测斜孔内，测量数据应该比我们使用的滑轮式活动测斜仪稳定，但在实际过程中，在某些测试孔，遇到了测斜数据跳动的问题，经过分析，确定是固定测斜仪的各测量杆安装与固定问题；为此我们与生产厂家一起设计了一种新式橡胶固定圈，解决了测量杆与测斜管的固定问题，使得测量杆能紧紧耦合在测斜管上，读取管型数据。在下图中1是测斜管，11是测斜管卡槽；我们设计了新的橡胶固定圈2，21是凸出的卡肩，只要卡肩与11卡槽的侧面紧耦合，卡肩的方向与土体位移方向垂直，就保证测量杆能紧耦合在测斜管上。

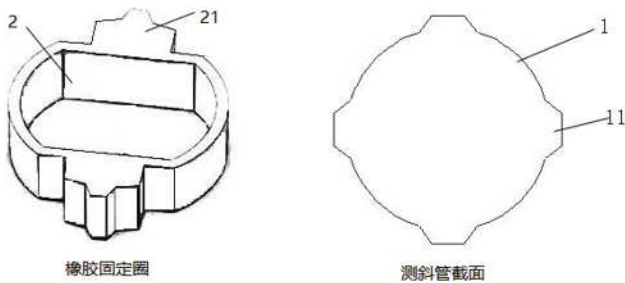


图3 新型橡胶固定圈

5.2 振弦传感器类型的自动对应

在建设自动化监测系统时，成本控制是非常重要的考虑因素，为了控制传感器的成本^[5]。在本项目的实施中，初期选型的振弦传感器拨弦响应信号幅度不稳定，在系统上表现形式为采集不到振弦传感器信号，系统判断为数据采集仪与传感器故障。在发生这个问题时，即使采用与其他振弦传感器采集正常的振弦数据采集仪也不能使用，因此选择能远程控制振弦信号放大增益的振弦信号采集仪是一个良好的选择。本次我们最终选择的一款通用振弦信号采集仪，具有远程增益设置功能，通

过远程参数的设置，我们解决了不同传感信号的分层位移计数据准确采集与分析；选择的远程数据采集仪（数据终端）必须能远程设置核心参数是我们在本次自动化监测系统上的一个重要体会。

5.3 固定测斜仪与水位计一体设计

为了减少现场打孔工作量，降低监测成本，我们发现固定测斜仪与水位计可以在物理上得到统一，下一步工作中，我们计划将水位传感器集成在固定测斜杆中，这样一个测量孔就能解决深层土体位移与水位的测量，这样的尝试，对降低安装成本，提高工作效率是大有好处的。

6 结束语

本项目经过大半年的建设，我们最终完成了一个近100个断面的地下管廊周边地质环境在线监测系统，目前在线监测实时数据稳定可靠，数据传输稳定，该系统可以运用在中心城区周边环境复杂、雨季施工时期、深大基坑开挖等人工监测困难项目，我们计划依赖这个基础，持续收集数据，用于加强数据分析并对比结构本体数据变化来完善在线监测系统，为今后同类工作打好基础。

参考文献：

- [1]代义德, 薛鹏.城市地下管廊自动化监控系统分析[J].中国设备工程, 2017(000), 019: 127-130.
- [2]黄洋.自动化监控系统在城市地下管廊中的应用[J].中国新技术新产品, 2018(000), 008: 12-13.
- [3]刘东洋.石家庄旧城区城市综合管廊施工监测技术研究[J].石家庄铁路职业技术学院学报, 2018(017), 003: 25-30.
- [4]杨颖.城市地下管廊监控系统研究及应用[J].昆明冶金高等专科学校学报.2017(033), 003: 64-70.
- [5]王育红.城市地下管廊监测与预警系统研究及应用[D].西安建筑科技大学.2017.