

新加坡明挖隧道监控量测及自动化数据分析平台的应用

Application of Monitoring and Measurement and Automatic Data Analysis Platform for Open-cut Tunnels in Singapore

刘辉 LIU Hui; 于连杰 YU Lian-jie

(中国公路工程咨询集团有限公司, 北京 100089)

(China Highway Engineering Consulting Group Co., Ltd., Beijing 100089, China)

摘要: 监控量测在明挖隧道基坑开挖施工过程中起到保证施工安全和确保工程质量的重要作用。本文以新加坡樟宜机场第三跑道明挖隧道为例, 对围护结构横向位移、地表沉降、地下水位、地下水压力、钢支撑应变及钢支撑轴力等监测项目进行介绍, 并利用自动化数据分析平台实时预警, 预防危险事故的发生。进一步说明监控量测在明挖隧道施工中的重要作用, 为国内基坑施工监控量测技术信息化发展提供指导思路。

Abstract: Monitoring and measurement plays an important role in ensuring construction safety and engineering quality in the process of excavation of open-cut tunnel foundation pits. Taking the cut-and-cover tunnel of the third runway of Singapore Changi Airport as an example, this paper introduces the monitoring items such as lateral displacement of the envelope structure, surface subsidence, groundwater level, groundwater pressure, steel support strain and steel support axial force, and uses automated data analysis. The platform provides real-time early warning to prevent the occurrence of dangerous accidents. This paper further explains the important role of monitoring and measurement in open-cut tunnel construction, and provides guidance for the development of domestic foundation pit construction monitoring and measurement technology informatization.

关键词: 监控量测; 明挖隧道; 数据分析平台

Key words: monitoring and measurement; open-cut tunnel; data analysis platform

中图分类号: U456.3 文献标识码: A 文章编号: 1006-4311(2022)12-135-03 doi:10.3969/j.issn.1006-4311.2022.12.043

0 引言

明挖隧道施工过程中, 由于土方开挖及重型机械的影响, 土体应力发生明显变化, 地下水稳定系统破坏严重, 从而导致隧道围护结构产生应力变形, 进而引起隧道基坑坍塌等严重安全事故, 因此监控量测在明挖隧道施工中起着至关重要的预警作用。新加坡樟宜机场第三跑道明挖隧道项目临近运营跑道、消防站等构筑物, 需在施工过程中, 及时反馈监测信息, 确保机场跑道的正常运营, 避免发生安全事故及经济损失, 避免造成不良的社会影响。

1 项目介绍

新加坡樟宜机场第三跑道项目位于新加坡东部, 毗邻樟宜机场第一跑道、第二跑道和第二航站楼, 是新加坡樟宜机场扩建项目第五航站楼的重要组成部分。ARC 先导明挖隧道全长 469m, 平均宽度 36m, 开挖深度为 10~15m, 采用钢板桩加工字钢、满堂地基加固及钢支撑组合围护结构形式。樟宜机场项目地质较为单一, 大部分区域由上世纪 90 年代填海造陆而成。其中地质结构由上而下主要分为回填层(Fill)、加冷地层(Kallang Foundation)及原有冲积层(Old Alluvium)。其中加冷地层为新加坡特有地层分类, 主要包含海相粘土层(M)、粘土层(E)、冲积粘土层(F1)及冲积沙层(F2)。因此, 本项目监控量测内容较多, 数据收集及分析工作较为复杂。

2 监控量测种类及数量

第三方检测机构根据业主委托编制监控量测方案, 并报业主审批。ARC 先导明挖隧道在开挖土方之前设置: 地表沉降监测点(72 个); 围护结构位移监测点(23 个); 地下水压力监测点(18 个); 水位监测点(10 个); 支撑应变计(76 对); 支撑轴力监测点(15 个)。

3 监控量测设备安装

3.1 地表沉降监测点

地表沉降监测点布设安装较为简单。根据平面布置图, 用全站仪放样出具体位置。以中心点为圆心, 采用 $\Phi 500\text{mm}$ 钻头钻取 300mm 深孔道, 再用 $\Phi 200\text{mm}$ 钻头继续钻取 700mm 深孔道。将 $\Phi 25\text{mm}$ 实心镀锌钢管至少插入地表以下 1300mm, 并灌注细石混凝土填充。此外, 沉降监测应在施工区域内设置测量基准网, 基准网的布设遵循分级布设、逐级控制的基本原则。首先根据周边地表沉降监测点分布情况布设三个监测基准点, 基准点选置后应与樟宜机场水准点进行联测; 其次, 根据监测网的具体情况布设工作基点, 工作基点根据与基准点的距离和通视条件进行选定。

3.2 围护结构位移监测点

围护结构位移监测由数显测斜仪测定。测斜仪的监测孔道埋设在围护结构 50cm 外的土体中, 测斜管的长度为开挖基坑深度的 2 倍, 且大于围护结构钢板桩长度。测斜管布点间隔为 30m, 并在风暴水箱阳角等特殊位置增设安装。测斜管安装流程为: 定位-钻孔-插入护壁套管-贯入水泥浆-插入测斜套管-拔除护壁套管-封顶固定。

测斜仪是由双轴探头, 电缆卷轴和配备数据输入系统的电子显示屏组成, 并与多个倾角传感器和控制器连接。将倾角传感器按照固定间距连接在金属杆上并放入测斜管中, 同时检查是否与控制器连接完成。通过控制器读取传感器的数值来获取不同高程的水平位移情况。例如, 传感器 A 处与其下方的传感器 B 处的距离为 L, 则第 i 个传感器的测得的水平位移值 $L_i = K_i \cdot \sin \alpha_i$ 。将 L_i 累加, 可以得到 n 个传感器串联的累计水平位移:

$$L_n = K_1 \cdot \sin \alpha_1 + K_2 \cdot \sin \alpha_2 + \cdots + K_n \cdot \sin \alpha_n \quad (1)$$

式中: L_n 为测斜仪累计水平位移数值;

K 为两个传感器间的固定距离;

作者简介: 刘辉(1989-), 男, 山东威海人, 本科, 工程师, 研究方向为路桥隧施工。

α 为金属杆的倾斜角度;

n 为传感器数量。

3.3 地下水压力监测点

采用 VWP 振弦式渗压计,测定地下渗透水压力。VWP 振弦式渗压计是一种利用弹性膜板变形,带动振弦应力的变化,从而改变振弦的震动频率,进而测定渗透水压力的感应装置。基本参数为:测量范围为 -50kPa 至 4000kPa ;测温范围为 -40°C 至 $+80^{\circ}\text{C}$ 等。VWP 振弦式渗压计埋设深度 $5\sim 10\text{m}$,埋设过程中反复监测测压头读数,确保测压头正常工作。测压头插入底部后,在套管周围填充干净的细沙,长度约为 1m ,作为进气过滤层。沙层上端填充膨润土碎屑,长度约为 1m ,作为密封层。循环以上步骤安装第二个测压头,然后用水泥浆填充剩余孔道,直到钻孔顶部达到地面水平位置,并放置水泥塞进行保护。

3.4 水位监测点

在明挖隧道内部和外部埋设深度为 10m 至 15m ,直径为 2 寸 PVC 管道,用作地下水位监测点。具体安装方法为:钻孔至设计深度,采用覆盖土工织物的 2 寸开槽 PVC 管插入底部,用细沙回填至顶部。等待 PVC 管道牢固后,收回所有钻孔套管,用水泥塞密封顶部开孔,并加以保护。

采用电子地下水位监测设备,对隧道周围的水位进行实时监测。电子地下水位监测设备为目前新型研发设备,一般包括水压探头、无线发射装置、数据处理软件等,电子地下水位监测设备具有数据可靠,数据记录与自动化处理功能等优点。

3.5 钢支撑应变计

当受到土压力作用或施加应力及荷载时,钢支撑会发生拉伸或压缩现象,从而产生相应的变形。钢支撑应变计(Strain Gauge)的作用就是精确的监测钢支撑的应变,即监测其在应力作用下发生的变形量。安装时,在钢支撑约为 $1/3$ 处选定并放样出应变计安装位置,打磨以去除表面氧化层。将应变计固定槽顺轴线方向安装在钢支撑表面,并点焊固定。将应变计传感器用不锈钢固定带固定至卡槽内,并进行焊接处理。

3.6 支撑轴力监测点

支撑轴力监测是在钢支撑中间位置加设一个轴力监测传感器(Load Cell),可以精确地测量钢支撑轴线上的受力情况。安装前,检查钢支撑预留空间,预留约 240mm 至 250mm 。空隙内两侧焊接托举支架后,将轴力检测传感器放置托举支架上,最终两侧插入薄金属垫片填充剩余空间,调整轴力传感器至钢支撑中心位置。

4 初始读数及监测频率

具体见表 1。

5 自动化数据分析平台的应用

新加坡机场项目采用 Mission OS 系统作为监控量测的数据收集及数据分析集合平台。这个系统是通过提高监测过程的自动化程度和透明度,来降低人为因素造成的施工风险,并在劳动密集型的施工产业中解放劳动力,大大提升了施工生产效率。

Mission OS 系统的宗旨:将监测工程师从繁重的监测数据处理工作中解脱出来,为他们提供一个可以快速、便捷地处理、审计和分析大量监测数据的平台。

5.1 自动化数据分析平台的特点

表 1 各监控量测初始数据及监测频率表

序号	监测项目	初始读数	监测频率
1	地表沉降监测	安装完成后,人工读取初始读数	1 次/1 日
2	围护结构位移监测	安装完成后,连接自动读取装置,得到初始读数	2 次/1 日
3	地下水压力监测	安装完成后,连接自动读取装置,得到初始读数	1 次/1 小时
4	水位监测	安装完成,静置 5 到 7 天后读取初始读数。工程开工前,每周进行三次的数据读取工作,作为初始读数的修正参考读数。	1 次/1 小时
5	钢支撑应变监测	安装完成后,手动读取装置获得初始读数	1 次/1 小时
6	支撑轴力监测	安装完成后,手动读取装置获得初始读数	1 次/1 小时

①项目上所有数据均可在此平台上体现,为大数据集合通用平台。

②此平台是一个交叉引用、验证和审核数据的综合性数据处理中心,将正确信息实时传输,错误信息进行校对考证。

③此平台输入结构模块化,输入界面简洁明确。具有较高质量的数据传输通道,简单易操作。

④此平台可作为项目数据储存库,从平台中可查询自开工以来所保存的全部数据。并且预留多个开口端,可对接业主、设计及施工单位自有数据平台。

5.2 自动化数据分析平台功能

5.2.1 平面布置图

Mission OS 系统提供以高分地图为载体,将整个工程项目地理位置及地形地貌以平面布置图和三维地形图的形式展现出来。平面布置图中,将施工现场按照实际施工区域进行划分,可单独查看一定影响区域内的监测点数据,且每一个监测点都能在平面布置图中精确定位。此系统可在三个模式下自由切换查看监测点现有状态:类型模式、报警模式和高程模式。类型模式下可以根据需求对仅所需类型的监测 1 点进行单独查看;报警模式为仅显示已报警监测点;高程模式是以高程为划分点,将不同高程的监测点进行区分显示。

5.2.2 数据分类查询功能

平台系统内配置数据筛分系统,对不同种类的数据单独储存,并配有总结式下拉菜单。使用者可以按照自己的需求快捷、方便地完成查找工作。查找过程中,系统将自动提示用户数据是否准确和完整。此外,可同时选中多个监测点的多组数据进行对比,以方便用户有针对性的分析现场监测数据,及时发现工程隐患(如图 1)。

5.2.3 辅助图表分析功能

所有的监测数据可以根据时间轴的划分一键生成分析图表,所生成的图表都是相互独立的。用户可以根据此功能分析任何时间段的监测数据变化趋势,更直观的呈现监测数据的变化速率和变化程度。所生成的图表可以进行局部的缩放,以展现更为清晰的数据走势,并可在图中,显示单独一次的监测具体数据。在多个监测点分析比较过程中,不同的监测点的数据折线图采用不同颜色进行区分,并且,可以单独隐藏一个或几个监测点折线图,使单独分析两个监测点的数据关系时,所表达的图表更为简洁(如

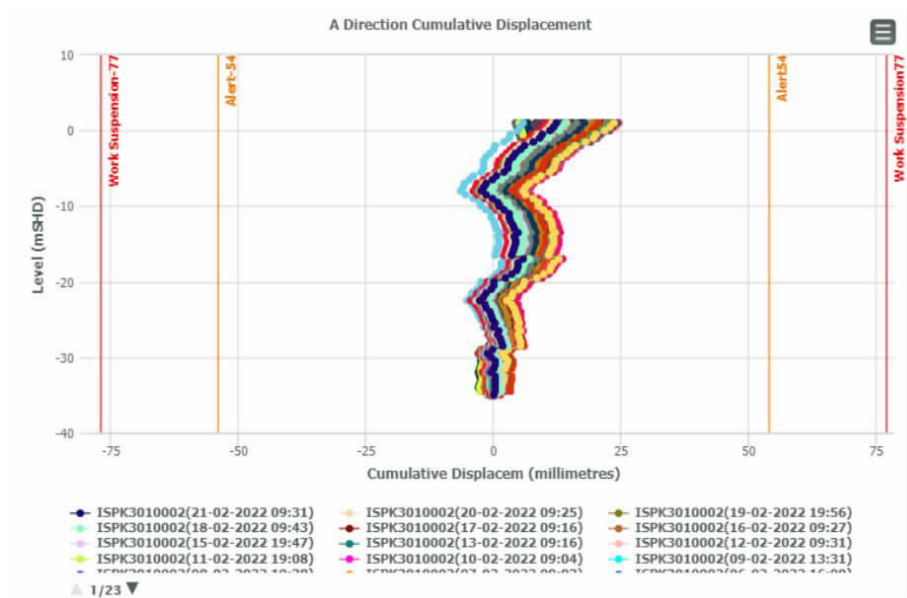


图2 围护结构水平位移监测图

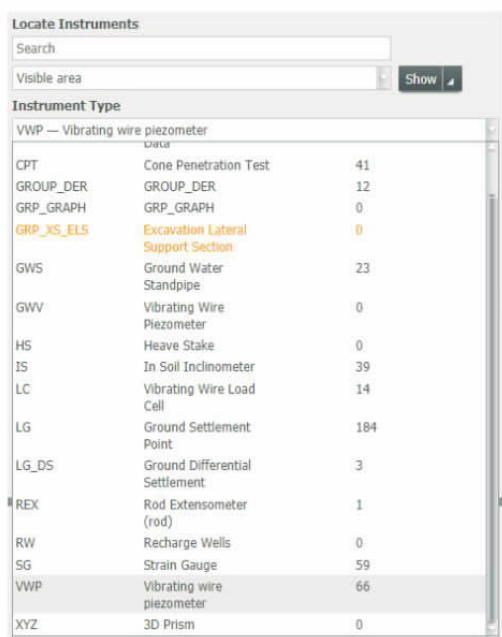


图1 分类查找系统图

图2)。

5.2.4 监测数据储存管理功能

系统上所有监测数据都是直接在用于数据处理的本地服务器内加载储存,并上传至云端平台。服务器内的多重算法,可以使任何数据单元的数据管理变得简单高效。收集的原始数据和整个数据的处理过程都可在系统中调取、查看。除了处理数据功能外,Mission OS 系统在导入一系列数据后,可以单纯用作数据可视化工具。

数据管理功能还包括数据过滤、数据隔离、数据审核和数据校正功能。数据过滤:系统内部根据不同监测数据的变化幅度和持续变化的峰值,设置自动过滤系统。即系统将原始监测数据收集后,会自动进行筛选,将与事实偏差较大的数据单独处理。数据隔离:通过数据过滤筛选出来的无效数据将被自动屏蔽隔离,不会引起系统报警提示。为确保筛选数据的准确性,自动屏蔽的数据会单独形成一份数据报告,并在后续的人工筛查中进行校核。数据

审核:监测数据经过筛分后,会经过两级系统进行处理。第一级是由数学算法对原始数据进行计算;第二级为管理员级别,将所有数据,包含被隔离数据重新审核和校对,并将合理数据代入系统算法中,防止正确数据被遗漏。数据校正:发现不正确或存在偏差的数据可以在系统中进行校正。多重校核系统中,包含各类影响因素:温度、气压、潮汐、风速风压和测量偏差等。系统根据经验公式进行相互查证,自动校正偏差数据。

5.2.5 监测数据预警功能

基坑围护结构设计过程中,将确定每个监测点的预警值和停工值。系统将根据监测点环境及工程特点,适当修正预警值。当沉降、偏移或压力达到预警值时,系统将通过短息和邮件将报警信息实时发送给项目管理人员,以便项目管理人员采取相应的措施,防止事态的进一步恶化。当监测数据达到停工值时,实时数据将上传至新加坡建屋局(BCA),政府部门将强制停止此区域施工,经专家论证,并采取相应措施后,监测数据恢复至预警值以内,方可复工。

5.2.6 自定义报告生成功能

平台可以跟据用户的自身喜好,将平面位置图、地形图、监测点剖面图、监测数据分析图、数据表格和纯文字描述等自由搭配,生成自定义报告。

6 总结

新加坡明挖隧道深基坑监测采用全过程信息化管理,利用先进的数据处理及管理平台,对项目的整体信息全面掌控,在准确性、时效性和前瞻性等几个方面有着突出优势。①将大量数据进行筛分,分层、分级、合理处理各项数据,保证数据真实准确。②有效地掌控了基坑开挖变形的实时状态,将实时动态通过移动端进行实时传输,让项目管理人员能及时掌握基坑变化情况。③根据反馈的数据信息,深入分析数据走向,掌握变化趋势,提前做好预防措施。新加坡明挖隧道基坑监控量测设计及全过程信息化的应用,使得基坑变形初期能够及时发现、变形趋势能够及时预测,为基坑安全施工提供宝贵的应急时间,为项目的顺利实施保驾护航。

参考文献:

- [1]刘凌云,邓笑军.临海新吹填中粗砂区域超大超深基坑止水降水技术——中交三航局破解新加坡大士南新船厂降水难题[J].施工技术,2011(22).
- [2]张朋杰.新加坡地铁光明山站施工监测方案设计[J].河南建材,2019(04).
- [3]龚俊,徐攀,夏杰,雷文浩,王佳源.深基坑施工监测技术与变形特征分析[C]/2020年全国土木工程施工技术交流会论文集(中册),2020:71-75.
- [4]张志,骆明钺,陈振海,胡孟师.固定测斜仪测点间距对基坑深层水平位移监测的影响分析[C]/2021年工业建筑学术交流会论文集(下册).[出版者不详],2021:696-699.
- [5]许锋,丁高伟,孙明峰.地铁工程地下水位监测问题研究[J].工程技术研究,2018(09):14-15.