

既有线地铁保护监测自动化处理研究

黄国顺¹, 赵遂南¹, 苟鸿飞^{2,3}, 李甲宏^{2,3}, 叶继昭⁴, 宛志刚⁴

¹中海佳隆成都房地产开发有限公司 四川成都

²北京城建勘测设计研究院有限责任公司 北京

³城市轨道交通深基坑岩土工程北京市重点实验室 北京

⁴成都地铁运营有限公司 四川成都

【摘要】随着我国地铁网络运营规模的不断扩大,地铁保护区内的各类工程活动对既有线路的安全性构成了日益严重的挑战。为确保公众的日常交通安全,工程影响区域内的既有地铁线路普遍采用自动化监测。针对人工处理监测数据所存在的效率低下和错误率高等问题,本研究提出了一种创新的监测数据处理策略,并通过 Python 编程语言开发了自动化处理系统。该程序在某工程实例中得到了成功应用,展现了其自动化提取数据、生成监测日报以及绘制变形时程曲线图的能力,从而显著提高了监测数据的处理效率和准确性。

【关键词】既有线地铁; 自动化监测; 数据处理

【收稿日期】2024 年 8 月 12 日

【出刊日期】2024 年 9 月 27 日

【DOI】10.12208/j.jer.20240022

Research on automatic processing of existing subway protection monitoring

Guoshun Huang¹, Suinan Zhao¹, Hongfei Gou^{2,3}, Jiahong Li^{2,3}, Jizhao Ye⁴, Zhigang Wan⁴

¹Zhonghai Jialong Chengdu Real Estate Development Co., LTD. Chengdu, Sichuan

²Beijing Urban Construction Survey, Design and Research Institute Co., LTD., Beijing

³Beijing Key Laboratory of Geotechnical Engineering for Deep Foundation Pit of Urban Rail Transit, Beijing

⁴Chengdu Metro Operation Co., LTD. Chengdu, Sichuan

【Abstract】 With the continuous expansion of the operation scale of China's subway network, all kinds of engineering activities in the subway protection area pose more and more serious challenges to the safety of the existing lines. In order to ensure the daily traffic safety of the public, automatic monitoring is generally adopted in the existing subway lines in the affected areas. Aiming at the problems of low efficiency and high error rate in manual processing of monitoring data, this study proposed an innovative monitoring data processing strategy, and developed an automated processing system through Python programming language. The program has been successfully applied in an engineering example, showing its ability to automatically extract data, generate monitoring daily news and draw deformation time history curve, thus significantly improving the processing efficiency and accuracy of monitoring data.

【Keywords】 Existing subway; Automated monitoring; Data processing

1 引言

随着城市化进程的加快,地铁作为城市交通的重要组成部分,其网络覆盖范围不断扩大,为城市居民的出行提供了极大的便利。然而,随着地铁运营里程的增加,既有线地铁的安全问题日益凸显。地铁保护区内的工程建设活动,如基坑开挖、隧道施工等,可能对既有地铁结构造成不利影响,甚至引发安全事故^[1-3]。因此,对既有线地铁进行保护监

测,确保其安全稳定运行,对于保障人民群众的生命财产安全具有重要意义。

对于运营地铁线路,人工作业模式难以保证适时监测,须采用自动化监测系统^[4,5],国内外学者针对自动化监测技术在地铁保护区监测中的广泛应用开展了多方面的研究,包括新的监测方法、监测数据采集、处理、分析和预警等^[6-12]。自动化监测技术可以提高监测效率和精度,为地铁运营安全和施工

安全提供有力保障。

尽管已有研究在既有线地铁保护监测领域取得了一定的成果,但仍然存在一些问题和挑战,如监测数据处理效率低、自动化程度不高、数据处理方法不够完善等。针对这些问题,本研究提出了一种监测数据处理策略,并实现了自动化处理系统,旨在提高监测数据的处理效率和准确性,为既有线地铁的安全运营提供技术支持。

2 监测数据获取与处理策略

2.1 监测数据获取

由于既有线地铁处于运营阶段,非运营阶段人工监测的频率又无法满足规范要求,需采用自动化监测的方法对实现既有线地铁隧道的保护监测,自动化监测通常可以采用全站仪自动化监测或静力水准两种方式^[13],本文仅讨论全站仪自动化监测方法及数据处理。

2.1.1 全站仪自动化监测系统组成

全站仪自动化监测系统主要由硬件和软件两部分组成^[14]

硬件组成:

(1) 监测站:作为数据采集的核心设备,安装在全站仪上,负责对监测点进行自动测量。该站在隧道侧壁需安装强制对中观测台,安置测量机器人、供电及通讯模块。

(2) 控制计算机:负责控制监测站的数据采集、传输和数据处理。控制计算机一般设在办公区,有较好的供电等条件。计算机通过互网络和监测站全站仪相联。控制计算机能实时了解监测站全站仪的运行情况。另外,通过布设于电源控制箱与监测站的专用电缆给全站仪供电并通讯。

(3) 基准点:建立监测系统的坐标系,提供监测数据的参考基准。设置在变形区以外,需建至少4个稳定的基准点。

(4) 变形点:根据实际需要,在变形体上选择若干变形监测点,每个监测点上安置有对准监测站的单棱镜。

(5) 测量机器人:高精度全站仪,用于自动测量变形点坐标。

软件组成:

(1) 数据采集模块:控制全站仪自动采集监测数据,确保数据采集的准确性和高效性。

(2) 数据处理模块:对采集到的数据进行处理、分析和存储,包括数据清洗、异常值识别、数据转换等。

(3) 数据管理模块:管理监测项目、监测点和监测数据,方便用户进行数据查询、统计和分析。

2.2.2 自动化监测方法

全站仪自动化监测首先根据外部施工对既有线地铁的影响范围布设监测断面,依据监测断面位置及现场实际情况选定测站位置并安装仪器,布设自动化监测基准点及监测点,然后对自动化监测基准网进行测量,以平差计算的基准点成果为基准,接着采用后方交会的方式进行对全站仪进行定向,定向完成后,采用全站仪极坐标法测量各监测点的初始三维坐标。

将基准点及监测点的初始三维坐标导入监测系统软件 Geomos 中,设置系统相关参数后,依托远程控制软件及数据处理软件,即可随时自动采用全站仪极坐标法获取监测点的三维坐标。经多期观测,选择连续稳定的多组监测数据取平均值作为监测点的初始值,即可开展既有线地铁保护监测,获取监测数据。

2.2.3 数据格式

Geomos 监测系统采集到的原始数据通常以 CSV 格式存储,便于后续的数据处理和分析。CSV 文件中包含以下信息:

(1) 测点信息:测点编号、名称、坐标等,用于标识每个监测点。

(2) 监测时间:每次监测的时间戳,用于记录监测数据的时间序列。

(3) 监测数据:每次监测的测点坐标数据,包括三维坐标(X、Y、Z)或其他监测指标。

2.2 监测数据处理策略

通过全站仪自动化监测系统能够随时获取既有线地铁的监测数据,由于在运营时间阶段,地铁运营时带来的震动会对自动化监测设备带来干扰,监测环境相对较差,一般会选择获取在地铁停运期间的4-6小时的监测数据,这样就会存在一个测点有多组监测数据的情况。因此本文提出一种监测数据处理策略如下:

首先考虑到自动化监测设备均安装在强制对中观测墩上,并且地铁停运期间的现场环境相对一致,

一个测点存在多组监测数据, 如果只考虑选择同一监测时间的数据并不是很合理, 因为众多测点的多组数据中难免会有一些误差较大的监测数据, 因此

需要首先将这部分数据识别并将其剔除。

首先按照式 1 计算出一个测点的多组三维监测数据的数值范围:

$$\begin{cases} X_{range} = MAX(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n) - MIN(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n) \\ Y_{range} = MAX(Y_1, Y_2, Y_3, \dots, Y_n) - MIN(Y_1, Y_2, Y_3, \dots, Y_n) \\ Z_{range} = MAX(Z_1, Z_2, Z_3, \dots, Z_n) - MIN(Z_1, Z_2, Z_3, \dots, Z_n) \end{cases} \quad 1 \leq n \leq m \quad (1)$$

式 1 中, m 为测点监测数据总的组数, n 表示剔除后测点监测数据剩余的组数, MAX 和 MIN 分别表示取最大值与最小值, X_{range} 、 Y_{range} 、 Z_{range} 表示计算出的三维坐标数据变化范围。

依据监测设备的精度情况以及工程经验, 按照三维坐标数据的范围有一项大于 2mm, 则认为其中某一组数据误差较大, 不参与监测数据的处理, 对其进行剔除。

因为每一次监测数据的三维坐标是同时获取的, 不能孤立的将三维坐标分开, 只剔除某一方向上的监测数据值, 所以按照式 2 所示计算当前所有监测数据的平均值。

接着按式 3 所示计算每一个监测点距离平均监

测数据的欧氏距离, 欧氏距离最大的点认为其与当前多数监测数据偏差较大, 将其剔除。重复上述步骤, 直至满足三维数据的变化范围都小于 2mm, 获得最终剩余监测点组数 n 。

然后根据剩余的 n 组监测数据的三维坐标同样按照式 2 所示计算平均坐标 \bar{P} , 再计算每一组监测数据与平均数据的欧氏距离, 最终选择距离最短的那一组监测数据 d_{min} 作为最终监测数据, 如式 4、5 所示。

式 4、5 中, $P_{(x, y, z)}$ 表示最终提取出的测点的监测数据, $P_{d_{min}(x_i, y_i, z_i)}$ 表示通过本文策略选取出的监测数据, d_{min} 表示策略参数, i 表示第几组数据。

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n}, \bar{Y} = \frac{\sum Y_i}{n}, \bar{Z} = \frac{\sum Z_i}{n} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

$$d_i = d(P_i, \bar{P}) = \sqrt{(X_i - \bar{X})^2 + (Y_i - \bar{Y})^2 + (Z_i - \bar{Z})^2} \quad (3)$$

$$P_{(x, y, z)} = P_{d_{min}(x_i, y_i, z_i)} \quad 1 \leq i \leq n \quad (4)$$

$$\begin{cases} d_{min} = 1 & n = 1 \\ \vdots & \\ d_{min} = MIN(d_1, d_2, d_3, \dots, d_n) & 2 \leq i \leq n \end{cases} \quad (5)$$

3 监测数据自动化处理系统实现

3.1 系统设计

由于既有线地铁保护监测的测点、计算测项较多, 并且在非停运期间会监测 3-4 次, 因此人工处理 Geomos 监测系统提供的监测原始数据需要花费大量的时间, 同时在应对一个测点多组监测数据中还存在人为干预过多的情况, 导致监测数据的人为误差和不合理。因此为了减少人力成本的投入, 优化数据提取的精度, 让技术人员专注于数据的分析与风险判定上, 为地铁保护提供更快速准确的监测数据, 故本文基于 python 编程语言开发了监测数据自动化处理的系统, 此系统主要保函三大功能模块如图 2.1 所示, 分别是数据处理模块、监测报告生成模块以及变形时程曲线图绘制模块。

3.2 数据处理模块实现

数据处理模块需要制作一个存储观测数据的前置 csv 格式文件, 命名为 obs, obs 文件当中第一列为 report_name, 后续每行填上在 Geomos 中定义的点名, 第二列为 name, 后续每行填上每个点名对应的后续输出报告中的名称。

数据预处理模块实现流程图如图 2.2-1 所示, 利用 Geomos 输出的原始观测文件以及前置 obs 文件, 以 obs 文件中的点名读取原始数据中对应相同点名的监测数据, 然后按照本文章节 1.2 所提出的监测数据处理策略对原始数据进行筛选。

筛选后的数据即为判定较为合理的观测数据, 然后将较为合理的观测数据同样依据点名存储到 obs 文件当中。

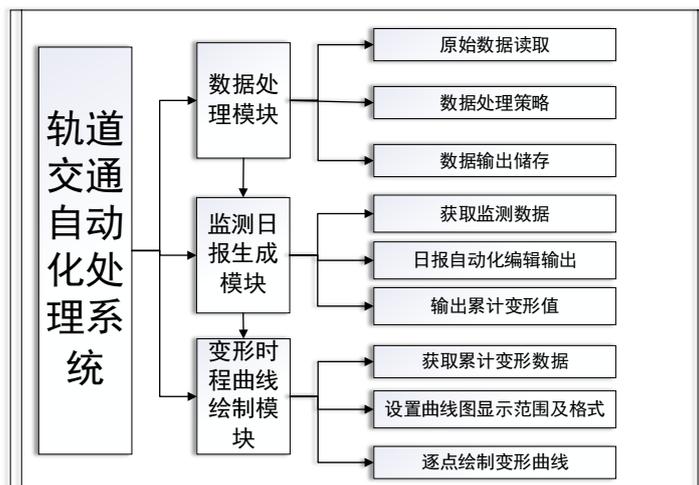


图 2.1 监测数据自动化处理的系统构成

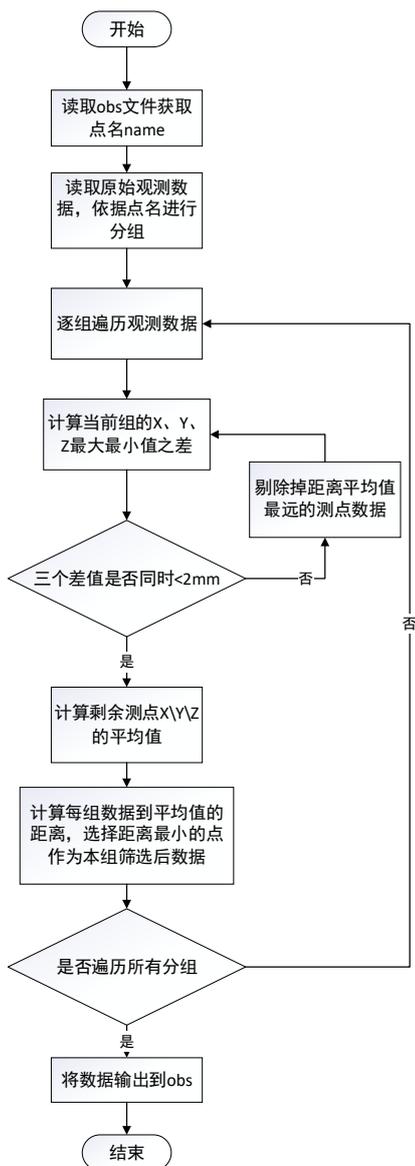


图 2.2-1 数据处理模块流程图

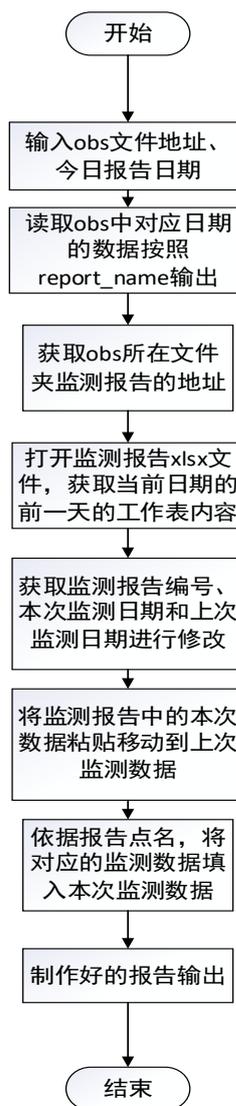


图 2.2-2 监测日报生成模块流程图

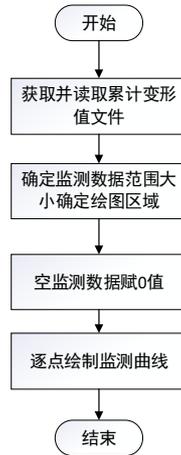


图 2.2-3 变形时程曲线绘制模块流程图

3.3 监测日报生成模块实现

由于监测日报在确定模板后, 每天需要变更的内容较为重复, 并且人工粘贴数据出具监测日报也容易出错, 所以监测日报自动化生成能够有效避免这种情况的发生, 也能够节省监测工程师的重复编制日报的时间, 将更多的精力放到关注监测数据的变化情况及数据分析上。

自动输出报告功能实现流程图如图 2.2-2 所示, 利用 obs 文件以及标准化的监测表格, 首先读取原有监测日报表格, 然后将其所有内容复制生成新表格, 并变更其中表头相关信息, 包括报告编号、监测日期等, 然后依据 obs 文件中的点名和报告点名, 将测点数据联系起来, 以点名作为判定依据, 将不同的报告所需的监测数据填入新的表格当中, 最后保存输出并将监测日报中计算出的本次累计值输出到累计变化表格中。如果是多个监测日报模块则自动重复上述步骤依次输出保存。

3.4 变形时程曲线绘制模块

变形时程曲线图原本在 Excel 中是可以实现的, 但每次都需要去手工更改累计变化值的数据范围, 监测日报的数量越多, 则越繁琐, 并且存在数据量达到一定程度存在无法绘制的局限性。同时变形时程曲线能够有效帮助监测工程师直观查看变形情况和分析变形趋势, 故开发自动化绘制变形时程曲线功能, 能够快速展示变形时程曲线。变形时程曲线绘制功能实现流程如图 2.2-3 所示, 利用监测日报输出功能每次输出保存的累计变化值文件, 首先读取遍历每个点名对应的数据行, 依据所有数据的范围

设置坐标轴范围和刻度, 然后将每一个点中存在空值 (某一次监测没有数据) 的位置赋值为 0, 然后逐点绘制每一个监测点的累计变形曲线, 对于为 0 的监测数据则变形曲线上不会绘制出标志点, 最后将绘制的曲线图输出到指定位置。如果存在多个测项的时程曲线则模块自动重复上述步骤依次保存输出。

4 应用实例

4.1 工程概况

某深基坑项目分两个地块, 两块地间采用地下连廊跨某市政道路设置, 1 号地块位于地铁交叉东南象限角, 紧邻某地铁车站结构, 地下连廊位于地铁盾构区间上方, 距离地铁结构较近。

4.2 监测方案设计

为了施工期间既有地铁结构的安全, 达到地铁保护的目, 需对须对施工影响范围内的地铁区间隧道结构采取自动化监测, 监测的项目包括: 竖向位移、水平位移、隧道相对收敛、道床差异沉降。结合影响区、影响等级及地铁结构特性断面间距为 5m~20m, 在隧道结构变形缝两侧均设置监测断面, 每个断面布置 5 个自动化监测棱镜及两个人工检核监测点, 具体布点形式如图 3.2 所示。

4.3 监测自动化系统应用

各个监测点的数据可以通过 Geomos 平台提供的软件下载获取, 以某日当天凌晨地铁停运期间的监测数据为例, 选择监测时间范围为 0 点-6 点, 可以保存为 csv 格式的文件, 当日 419 个测点共计有 776 行 30 列监测数据 (部分测点存在遮挡以及破坏的情况), 部分原始监测数据如图 3.3-1 所示。

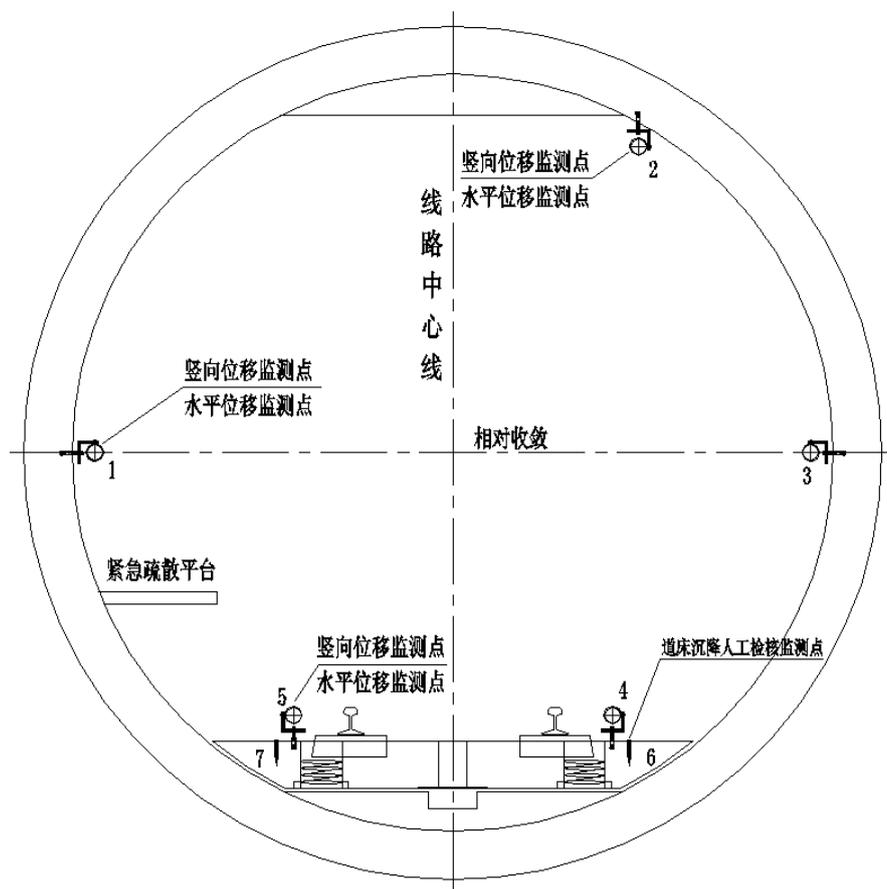


图 3.2 监测断面测点布置示意图

Stata	Point ID	Profile Name	Time	Hz	V	D[m]	PPM Type	PPM	Pressure [n/Au]	Temp [°C]	Add Const	Target East	Target North	Target Elev	Reflector H	Instrument	Station East	Station North	Station Elev	Null	Measu	Short	Time	Long Time	Vel Limit	Di Horiz	Distan	Difference	Longitude	Transverse	Height	Disq	Point group						
1	12051	06-05-2022	07:27:57	02:07:50	7.82125	Atmos	PPM	0	1012.25	11.1012	0	692.772395	7090.0534	77.22274	0	0	684.16440	7090.6163	78.0061	7.61616	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00144	-0.00023	-0.00026	1821.1C							
1	12071	06-05-2022	07:31:24	07:45:40	3.06597	Atmos	PPM	0	1012.25	11.1012	0	502.855178	5000.2223	49.96202	0	0	499.84489	4999.9821	49.4969	3.02841	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00024	-0.00018	-0.00019	1819.1C							
1	12081	06-05-2022	07:34:09	07:50:11	47.42815	Atmos	PPM	0	1012.25	11.1012	0	847.004	7090.0419	78.69697	0	0	709.57622	7090.7777	78.78125	10.149	259	0	0	0	0	0	0	-0.00069	-0.00054	-0.00049	1822.1C								
1	12071	06-05-2022	07:35:58	07:50:58	15.53455	Atmos	PPM	0	1012.25	11.1012	0	699.6971	7090.8157	77.42342	0	0	684.16440	7090.6163	78.0061	15.52407	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00138	-0.00086	-0.00048	1821.1C							
1	12081	06-05-2022	07:37:26	07:51:40	7.41217	Atmos	PPM	0	1012.25	11.1012	0	507.04455	5000.3211	49.81071	0	0	499.84489	4999.9821	49.4969	7.40445	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00005	-0.00006	-0.00001	1819.1C							
1	12091	06-05-2022	07:34:30	07:53:56	17.04715	Atmos	PPM	0	1012.25	11.1012	0	617.51248	7090.8075	78.18659	0	0	709.57622	7090.7777	78.78125	10.169	965	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00072	-0.00033	-0.00052	1822.1C						
1	12091	06-05-2022	07:30:20	07:50:07	12.42820	Atmos	PPM	0	1012.25	11.1012	0	711.63967	7090.8530	77.49202	0	0	684.16440	7090.6163	78.0061	12.47851	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00162	-0.00152	-0.00089	1821.1C						
1	12056	06-05-2022	07:35:01	07:50:07	12.42820	Atmos	PPM	0	1012.25	11.1012	0	512.06802	5000.2992	49.49679	0	0	499.84489	4999.9821	49.4969	12.42819	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	12091	06-05-2022	07:35:27	07:57:07	13.18155	Atmos	PPM	0	1012.25	11.1012	0	612.74026	7090.7046	78.10246	0	0	709.57622	7090.7777	78.78125	10.173	329	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00064	-0.00024	-0.00054	1822.1C					
1	12011	06-05-2022	07:30:04	07:52:31	38.78555	Atmos	PPM	0	1012.25	11.1012	0	721.7268	7090.3856	61.79255	0	0	684.16440	7090.6163	78.0061	38.57341	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00182	-0.00038	-0.00005	1821.1C					
1	12091	06-05-2022	07:35:01	07:50:07	12.42844	Atmos	PPM	0	1012.25	11.1012	0	512.06847	5000.2992	49.49679	0	0	499.84489	4999.9821	49.4969	12.42809	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1	12081	06-05-2022	07:34:21	07:56:46	7.5778	Atmos	PPM	0	1012.25	11.1012	0	907.11769	7090.7789	78.2402	0	0	709.57622	7090.7777	78.78125	10.177	29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00062	-0.00014	-0.00021	1821.1C				
1	12011	06-05-2022	07:32:51	07:51:28	36.619	Atmos	PPM	0	1012.25	11.1012	0	731.0318	7090.7186	76.72296	0	0	684.16440	7090.6163	78.0061	36.6787	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00167	-0.00026	-0.00048	1821.1C					
1	12011	06-05-2022	07:31:30	07:53:28	20.4451	Atmos	PPM	0	1012.25	11.1012	0	620.03802	7090.7095	78.04736	0	0	709.57622	7090.7777	78.78125	10.168	135	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00088	-0.00011	-0.00044	1822.1C				
1	12015	06-05-2022	07:30:24	07:52:10	37.3232	Atmos	PPM	0	1012.25	11.1012	0	721.40498	7097.6601	78.68203	0	0	684.16440	7090.6163	78.0061	37.2912	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00118	-0.00066	-0.00077	1821.1C					
1	12092	06-05-2022	07:37:08	07:54:25	62.86235	Atmos	PPM	0	1012.25	11.1012	0	682.24014	7090.1125	62.77091	0	0	709.57622	7090.7777	78.78125	10.123	602	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00085	-0.00031	-0.00042	1821.1C				
1	12031	06-05-2022	07:31:54	07:55:27	22.93951	Atmos	PPM	0	1012.25	11.1012	0	522.02589	5000.2202	49.23554	0	0	499.84489	4999.9821	49.4969	22.92227	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00001	-0.00005	-0.00004	1819.1C			
1	12095	06-05-2022	07:34:03	07:57:46	27.7411	Atmos	PPM	0	1012.25	11.1012	0	711.70026	7097.6572	76.42007	0	0	684.16440	7090.6163	78.0061	27.68544	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00151	-0.00033	-0.00043	1821.1C				
1	12037	06-05-2022	07:30:21	07:51:16	63.20195	Atmos	PPM	0	1012.25	11.1012	0	682.84623	7090.0622	62.79989	0	0	709.57622	7090.7777	78.78125	10.137	611	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00047	-0.00023	-0.00037	1822.1C				
1	12031	06-05-2022	07:32:20	07:53:08	17.23063	Atmos	PPM	0	1012.25	11.1012	0	526.87807	5000.2725	49.97983	0	0	499.84489	4999.9821	49.4969	17.22754	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00001	-0.00007	-0.00009	1821.1C				
1	12031	06-05-2022	07:30:21	07:51:16	63.20205	Atmos	PPM	0	1012.25	11.1012	0	682.84623	7090.0622	62.79989	0	0	709.57622	7090.7777	78.78125	10.137	611	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00087	-0.00009	-0.00034	1822.1C			
1	12092	06-05-2022	07:32:46	07:52:46	37.42215	Atmos	PPM	0	1012.25	11.1012	0	721.29026	7096.1126	76.48221	0	0	684.16440	7090.6163	78.0061	37.38864	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00048	-0.00009	-0.00049	1822.1C			
1	12014	06-05-2022	07:30:21	07:51:16	63.20205	Atmos	PPM	0	1012.25	11.1012	0	682.84623	7090.0625	62.79991	0	0	709.57622	7090.7777	78.78125	10.137	611	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00048	-0.00014	-0.00039	1822.1C			
1	12092	06-05-2022	07:31:41	07:52:46	15.62336	Atmos	PPM	0	1012.25	11.1012	0	699.77811	7097.6486	76.58719	0	0	684.16440	7090.6163	78.0061	15.73999	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00176	-0.00046	-0.00041	1821.1C			
1	12041	06-05-2022	07:30:27	07:54:31	37.78842	Atmos	PPM	0	1012.25	11.1012	0	537.42251	5000.2189	49.52002	0	0	499.84489	4999.9821	49.4969	37.78833	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1	12071	06-05-2022	07:35:08	07:50:57	15.64895	Atmos	PPM	0	1012.25	11.1012	0	602.07639	7090.7086	77.02268	0	0	709.57622	7090.7777	78.78125	10.160	623	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00001	-0.00007	-0.00011	1819.1C			
1	12094	06-05-2022	07:32:30	07:51:36	27.81495	Atmos	PPM	0	1012.25	11.1012	0	711.74444	7096.1319	76.4162	0	0	684.16440	7090.6163	78.0061	27.75731	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00109	-0.00015	-0.00025	1821.1C			
1	12081	06-05-2022	07:34:11	07:51:23	62.80135	Atmos	PPM	0	1012.25	11.1012	0	682.24493	7096.8063	77.12024	0	0	709.57622	7090.7777	78.78125	10.137	501	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00058	-0.00039	-0.00041	1822.1C			
1	12013	06-05-2022	07:30:28	07:50:03	38.43	Atmos	PPM	0	1012.25	11.1012	0	722.00627	7092.9841	78.01204	0	0	684.16440	7090.6163	78.0061	38.4217	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00138	-0.00036	-0.00046	1821.1C			
1	12092	06-05-2022	07:31:08	07:51:08	38.4326	Atmos	PPM	0	1012.25	11.1012	0	693.80341	7099.0199	62.72313	0	0	709.57622	7090.7777	78.78125	10.155	588	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00038	-0.00041	-0.00047	1822.1C			
1	12091	06-05-2022	07:31:26	07:51:29	62.7523	Atmos	PPM	0	1012.25	11.1012	0	692.39697	5000.1882	49.6746	0	0	499.84489	4999.9821	49.4969	62.75236	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00001	-0.00019	-0.00014	1821.1C			
1																																							

report_name	0425-nam	0425-X	0425-Y	0425-Z	0426-nam	0426-X	0426-Y	0426-Z	4.27-nam	4.27-X	4.27-Y	4.27-Z	4.28-nam	4.28-X	4.28-Y	4.28-Z
19CY01-1	CY1-1															
19CY01-2	CY1-2	261.3157	4995.137	46.19214	CY1-2	261.3162	4995.137	46.19272	CY1-2	261.3165	4995.137	46.19268	CY1-2	261.3163	4995.138	46.19271
19CY01-3	CY1-3	261.2509	4996.642	46.19112	CY1-3	261.2523	4996.642	46.19204	CY1-3	261.2526	4996.642	46.19173	CY1-3	261.2525	4996.642	46.19182
19CY02-1	CY2-1															
19CY02-2	CY2-2	281.7121	4995.171	46.19071	CY2-2	281.7128	4995.172	46.19165	CY2-2	281.7132	4995.172	46.19121	CY2-2	281.713	4995.172	46.19106
19CY02-3	CY2-3	281.6576	4996.732	46.18919	CY2-3	281.6597	4996.731	46.18951	CY2-3	281.66	4996.73	46.18932	CY2-3	281.6601	4996.731	46.18948
19CY03-1	CY3-1															
19CY03-2	CY3-2	291.3746	4995.231	46.18973	CY3-2	291.375	4995.231	46.18993	CY3-2	291.3753	4995.231	46.18977	CY3-2	291.3753	4995.231	46.18967
19CY03-3	CY3-3	291.3008	4996.772	46.18992	CY3-3	291.3014	4996.772	46.19025	CY3-3	291.3014	4996.772	46.19024	CY3-3	291.3014	4996.772	46.18998
19CY04-1	CY4-1															
19CY04-2	CY4-2	301.5456	4995.276	46.19359	CY4-2	301.5459	4995.275	46.19399	CY4-2	301.5462	4995.275	46.19395	CY4-2	301.5462	4995.275	46.19383
19CY04-3	CY4-3	301.5532	4996.841	46.19114	CY4-3	301.5538	4996.841	46.19137	CY4-3	301.5539	4996.841	46.19143	CY4-3	301.5538	4996.841	46.19124
19CY05-1	CY5-1															
19CY05-2	CY5-2	311.7031	4995.324	46.19025	CY5-2	311.7035	4995.324	46.19064	CY5-2	311.7036	4995.324	46.19055	CY5-2	311.7035	4995.323	46.1904
19CY05-3	CY5-3	311.6997	4996.875	46.19196	CY5-3	311.7002	4996.875	46.19221	CY5-3	311.7004	4996.875	46.19225	CY5-3	311.7002	4996.875	46.19238
19CY06-1	CY6-1															
19CY06-2	CY6-2	321.8874	4995.372	46.18992	CY6-2	321.8877	4995.372	46.19013	CY6-2	321.8879	4995.372	46.19019	CY6-2	321.8878	4995.372	46.19007
19CY06-3	CY6-3	321.8526	4996.923	46.19253	CY6-3	321.8529	4996.923	46.19271	CY6-3	321.8531	4996.923	46.19279	CY6-3	321.853	4996.923	46.19264
19CY07-1	CY7-1	331.5477	4994.242	46.17378	CY7-1	331.5482	4994.242	46.17401	CY7-1	331.5484	4994.242	46.17404	CY7-1	331.5483	4994.242	46.17392
19CY07-2	CY7-2	331.5231	4995.379	46.19173	CY7-2	331.5235	4995.379	46.19182	CY7-2	331.5236	4995.379	46.19192	CY7-2	331.5236	4995.379	46.19178
19CY07-3	CY7-3	331.4731	4996.957	46.19074	CY7-3	331.4735	4996.957	46.19096	CY7-3	331.4736	4996.957	46.19094	CY7-3	331.4736	4996.957	46.19086
19CY08-1	CY8-1	341.703	4994.121	46.18169	CY8-1	341.7032	4994.121	46.18176	CY8-1	341.7035	4994.121	46.18183	CY8-1	341.7034	4994.121	46.18164
19CY08-2	CY8-2	341.6876	4995.453	46.1921	CY8-2	341.6878	4995.453	46.1922	CY8-2	341.6881	4995.453	46.19228	CY8-2	341.688	4995.453	46.19219
19CY08-3	CY8-3	341.6949	4996.992	46.19196	CY8-3	341.6952	4996.992	46.19213	CY8-3	341.6953	4996.992	46.19214	CY8-3	341.6952	4996.992	46.19205
19CY09-1	CY9-1	351.8203	4993.78	46.19696	CY9-1	351.8206	4993.78	46.19706	CY9-1	351.8208	4993.78	46.19709	CY9-1	351.8206	4993.78	46.19697
19CY09-2	CY9-2	351.8822	4995.428	46.19049	CY9-2	351.8823	4995.428	46.19048	CY9-2	351.8824	4995.428	46.19053	CY9-2	351.8823	4995.428	46.19046
19CY09-3	CY9-3	351.8535	4996.998	46.19035	CY9-3	351.8538	4996.998	46.19049	CY9-3	351.854	4996.998	46.19053	CY9-3	351.8538	4996.998	46.19043
19CY10-1	CY10-1	362.0112	4999.182	47.3659	CY10-1	362.0114	4999.182	47.36602	CY10-1	362.0115	4999.182	47.366	CY10-1	362.0115	4999.182	47.36589
19CY10-2	CY10-2	361.4997	4995.479	46.21283	CY10-2	361.5	4995.479	46.21293	CY10-2	361.5001	4995.479	46.21293	CY10-2	361.5	4995.479	46.21284
19CY10-3	CY10-3	361.4852	4997.06	46.21739	CY10-3	361.4855	4997.06	46.21749	CY10-3	361.4856	4997.06	46.21745	CY10-3	361.4855	4997.06	46.21737
19CY11-1	CY11-1	371.934	4999.884	47.47704	CY11-1	371.9342	4999.884	47.47713	CY11-1	371.9343	4999.884	47.47717	CY11-1	371.9342	4999.884	47.47703
19CY11-2	CY11-2															
19CY11-3	CY11-3	372.1722	4992.978	48.20131	CY11-3	372.1725	4992.978	48.20144	CY11-3	372.1726	4992.978	48.2014	CY11-3	372.1724	4992.978	48.20134
19CY11-4	CY11-4	371.8282	4995.469	46.22219	CY11-4	371.8284	4995.469	46.22228	CY11-4	371.8285	4995.469	46.22235	CY11-4	371.8284	4995.469	46.22225
19CY11-5	CY11-5	371.8498	4997.109	46.21376	CY11-5	371.85	4997.109	46.21383	CY11-5	371.85	4997.109	46.21386	CY11-5	371.8499	4997.109	46.21379
19QY01-1	QY1-1	373.1001	4999.952	47.59958	QY1-1	373.1003	4999.952	47.59967	QY1-1	373.1004	4999.952	47.59966	QY1-1	373.1004	4999.952	47.59958
19QY01-2	QY1-2															
19QY01-3	QY1-3	372.6324	4993.251	47.44628	QY1-3	372.6326	4993.251	47.44636	QY1-3	372.6328	4993.251	47.44639	QY1-3	372.6327	4993.251	47.44634
19QY01-4	QY1-4	373.0598	4995.463	46.22258	QY1-4	373.06	4995.463	46.22268	QY1-4	373.0601	4995.463	46.22269	QY1-4	373.0601	4995.463	46.22264

图 3.3-2 obs 文件格式示意图



图 3.3-3 监测日报模块运行完成示意图

在监测数据的自动化处理流程中，首先需要将采集到的原始数据导入到数据处理模块。这些原始数据通常以 csv 格式文件存储，包含了大量的监测点信息、时间戳、以及各监测指标的实际读数。为了确保后续分析的准确性和效率，对这些原始数据进行处理是至关重要的步骤。具体操作上，系统首先识别并加载 csv 格式的原始数据文件。随后，数据处理模块根据本文提出的数据处理策略，对导入的数据进行提取，旨在提高数据的质量和可用性。经过严格筛选和处理后，高质量的监测数据被存储到一个新的 obs 文件中。如图 3.3-2 所示，这个 obs 文件是按照特定的数据结构组织的，它不仅包含了经

过筛选的监测数据，还保留了数据的时间序列特性，为后续的数据分析和报告生成提供了坚实的基础。

图 3.3-2 中的 obs 文件示例清晰地展示了数据处理后的结果。文件中的数据条理清晰，格式统一，便于后续模块的读取和分析。通过这种方式，数据处理模块有效地将原始的、未经处理的监测数据转换成了适用于进一步分析和应用的格式，极大地提升了整个监测数据自动化处理流程的效率和准确性。在完成数据获取环节后，我们得到了关键的 obs 文件，该文件包含了所有必要的监测数据。利用这个 obs 文件，我们可以启动监测日报自动输出模块的功能。该模块的设计初衷是为了简化日报的生成过程，

实现从数据到报告的一键转换。通过运行这一模块, 系统自动处理数据, 生成项目的监测日报, 总计生成了 14 份详尽的日报。如图 3.3-3 所示, 这些监测日报按照预设的格式和内容要求, 整齐地排列在一起。这种自动化的日报生成方式, 不仅极大地提高了工作效率, 还减少了人为错误的可能性, 确保了监测结果的准确性和报告的及时性。

具体来看, 其中一份监测日报的内容如图 3.3-4 所示, 展示了日报的详细内容, 包括但不限于监测日期、监测点位、变形累计值、变形速率、预警信息等关键指标。报告的结构清晰, 数据排列有序, 使得工程技术人员能够迅速把握监测数据的最新动态, 及时做出相应的分析和决策。通过这种自动化的监测日报输出模块, 项目团队可以更加专注于数据分析本身, 而无需耗费大量时间在报告的编制上。这不仅提高了项目管理的信息化水平, 也为地铁隧道的安全运营提供了有力的数据支持。

在实现监测日报自动生成的过程中, 我们不仅完成了日报内容的自动编排和输出, 还将关键的数据指标——变形累计值, 同步输出并存储至专门的

累计变形值文件中。这一步骤的重要性在于, 它为后续的数据分析和历史记录查询提供了便捷的数据源。当日报出具工作顺利完成后, 便可运行系统下一个关键模块——自动绘制时程曲线图模块。

该模块的设计旨在无需人工干预的情况下, 快速、准确地生成监测累计变形值的时程曲线图。运行该模块后, 我们可以看到如图 6 所示的效果。图 6 清晰地展示了监测数据的累计变形值随时间变化的趋势, 这种图形化的展示方式使得数据分析和趋势预测变得更加直观和高效。

如图 3.3-5 所示, 通过一键操作, 系统能够迅速地绘制出监测累计变形值的时程曲线图。这一功能极大地提高了监测数据处理的效率, 减少了人工绘制图表的时间和劳动强度。时程曲线图的自动生成, 不仅为工程技术人员提供了实时的监测数据反馈, 而且为决策者提供了科学、直观的数据支持, 从而更好地指导地铁隧道的安全管理和维护工作。通过这种自动化的数据处理和图表生成手段, 我们确保了监测数据的准确性和时效性, 提升了整个监测系统的智能化水平。

XX 涉地铁 X 号线监测 右线车站竖向位移 监测日报表														
监测工程名称: XX 涉地铁 X 号线监测				报表编号: 19CYCJ-094				天气: 晴						
本次监测时间: 2023年5月5日								上次监测时间: 2023年5月4日						
仪器型号: 徕卡 TS60				仪器出厂编号: 883672				检定日期: 2023年4月15日						
仪器型号: 徕卡 TS60				仪器出厂编号: 886361				检定日期: 2023年2月03日						
监测点号	里程	初始值 (m)	本次高程 (m)	建设期结束累计变化值 (mm)	运营期监测上次累计变化量 (mm)	运营期累计变化值 (mm)	项目累计变化值 (mm)	本次变化量 (mm)	变化速率 (mm/d)	控制值		预警等级	备注	附加值 (mm)
										累计变化 (mm)	变化速率 (mm/d)			
19CY01-2	YDK104+167	46.19254	46.19271	0.00	-0.50	0.17	0.17	0.67	0.67	10	1	正常		
19CY01-3	YDK104+167	46.19148	46.19181	0.00	0.12	0.33	0.33	0.21	0.21	10	1	正常		
19CY02-2	YDK104+187	46.19092	46.19136	0.00	-0.42	0.44	0.44	0.86	0.86	10	1	正常		
19CY03-2	YDK104+197	46.18953	46.18990	0.00	-0.20	0.37	0.37	0.57	0.57	10	1	正常		
19CY03-3	YDK104+197	46.19019	46.19017	0.00	-0.62	-0.02	-0.02	0.60	0.60	10	1	正常		
19CY04-2	YDK104+207	46.19393	46.19399	0.24	-0.30	0.06	0.30	0.36	0.36	10	1	正常		
19CY04-3	YDK104+207	46.19118	46.19144	0.24	-0.25	0.26	0.50	0.51	0.51	10	1	正常		
19CY05-2	YDK104+217	46.19052	46.19069	1.67	-0.16	0.17	1.84	0.33	0.33	10	1	正常		
19CY05-3	YDK104+217	46.19202	46.19235	1.67	0.04	0.33	2.00	0.29	0.29	10	1	正常		
19CY06-2	YDK104+227	46.19034	46.19023	2.20	-0.59	-0.11	2.09	0.48	0.48	10	1	正常		
19CY06-3	YDK104+227	46.19266	46.19346	2.20	0.09	0.80	3.00	0.71	0.71	10	1	正常		
19CY07-1	YDK104+237	46.17374	46.17413	1.56	-0.12	0.39	1.96	0.51	0.51	10	1	正常		
19CY07-2	YDK104+237	46.19182	46.19206	1.56	-0.25	0.24	1.80	0.49	0.49	10	1	正常		
19CY07-3	YDK104+237	46.19088	46.19112	1.56	-0.25	0.24	1.80	0.49	0.49	10	1	正常		
19CY08-1	YDK104+247	46.18169	46.18209	0.41	-0.25	0.40	0.82	0.66	0.66	10	1	正常		
19CY08-2	YDK104+247	46.19214	46.19239	0.41	-0.25	0.25	0.66	0.50	0.50	10	1	正常		
19CY08-3	YDK104+247	46.19197	46.19226	0.41	-0.25	0.29	0.70	0.54	0.54	10	1	正常		
19CY09-1	YDK104+257	46.19701	46.19717	2.27	-0.25	0.16	2.43	0.41	0.41	10	1	正常		
19CY09-2	YDK104+257	46.19046	46.19065	2.27	-0.25	0.19	2.47	0.45	0.45	10	1	正常		
19CY09-3	YDK104+257	46.19039	46.19052	2.27	-0.29	0.13	2.40	0.42	0.42	10	1	正常		
19CY10-1	YDK104+267	47.36593	47.36615	1.66	-0.28	0.22	1.88	0.50	0.50	10	1	正常		
19CY10-2	YDK104+267	46.21288	46.21306	1.66	-0.33	0.18	1.84	0.51	0.51	10	1	正常		
19CY11-1	YDK104+277	47.47704	47.47729	1.91	-0.25	0.25	2.16	0.50	0.50	10	1	正常		
19CY11-3	YDK104+277	48.20132	48.20152	1.91	-0.29	0.20	2.12	0.49	0.49	10	1	正常		
19CY11-4	YDK104+277	46.22221	46.22244	1.91	-0.28	0.23	2.14	0.51	0.51	10	1	正常		
19CY11-5	YDK104+277	46.21379	46.21400	1.91	-0.28	0.21	2.13	0.49	0.49	10	1	正常		

图 3.3-4 右线车站竖向位移监测日报示意图

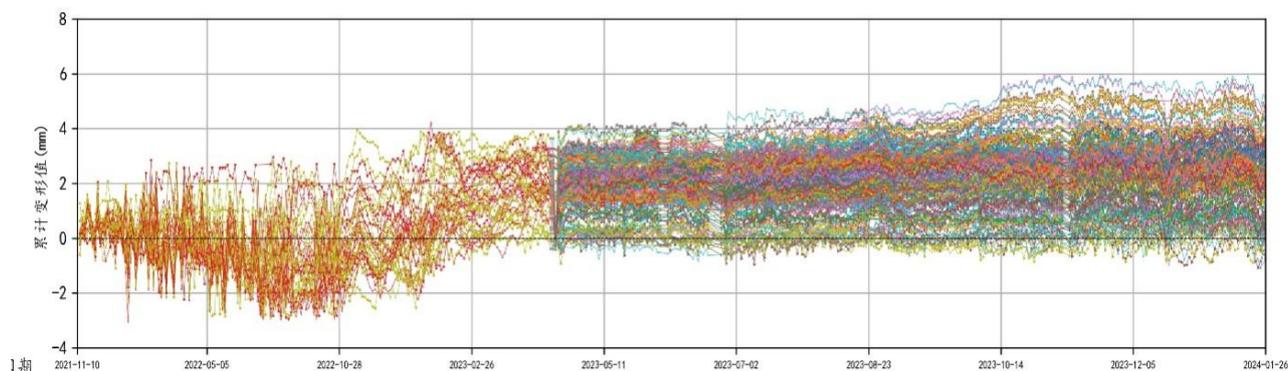


图 3.3-5 累计时程曲线示意图

5 结论

本文针对轨道交通地铁隧道监测数据的自动化处理进行了深入研究, 通过设计并实现了一套完整的监测数据自动化处理程序, 达到了提高数据处理效率和保障隧道安全的目的。经过详细的分析与实践, 得出以下结论:

本研究提出的监测数据处理策略和方法, 能够有效提高监测数据的处理效率和质量。通过 Geomos 监测系统数据的概述, 结合数据处理策略, 实现了对原始 csv 格式文件的快速处理, 并将筛选后的数据存储于 obs 文件中, 确保了数据的准确性和可靠性。

监测数据自动化处理程序的实现, 特别是数据提取自动生成、监测日报自动化生成以及变形时程曲线图绘制等模块, 极大地减轻了工程技术人员的工作负担, 提高了监测数据的实时性和实用性。

应用实例表明, 本文所开发的自动化处理程序在实际工程中具有良好的适用性和稳定性。通过对监测数据的自动化处理和分析, 为工程管理人员提供了有力的决策依据, 确保了地铁隧道的安全运营。

总之, 本文的研究成果为轨道交通地铁隧道监测数据的处理提供了一种高效、实用的解决方案, 具有一定的理论价值和实际应用意义。

然而, 本研究仍有一定的局限性, 未来可以在以下方面进行拓展和深化: 一是进一步优化数据处理算法, 提高系统的自适应性和智能化水平; 二是结合大数据和云计算技术, 并融合多源数据, 实现多种监测数据的融合自动化处理系统云平台; 三是探索更多应用场景, 为我国轨道交通事业的发展贡献力量。

参考文献

- [1] 银英姿,刘斌.深基坑开挖时邻近既有地铁隧道的监测分析[J].建筑技术,2016,47(09):785-787.
- [2] 陈炳基,黄勇,王英,等.地铁上盖施工对地铁隧道变形控制及保护措施研究[J].建筑技术,2023,54(22):2722-2727.
- [3] 林章凯.深基坑施工对既有地铁隧道的影响及保护措施研究[J].福建建筑,2021,(09):108-112.
- [4] 张书华,蒋瑞波.基于测量机器人的隧道变形自动监测系统的设计与实现[J].测绘科学,2009,34(03):192-194.
- [5] 曹强.地铁自动化监测方案设计与精度分析[J].北京测绘,2019,33(11):1394-1397.
- [6] 由迎春,王岩,刘茂华.自由设站法在地铁保护监测中的应用及精度分析[J].测绘通报,2016,(S2):175-176+185.
- [7] 伍家赞.自动化监测技术在运营地铁隧道中的应用探讨[J].建筑安全,2012,27(03):55-58.
- [8] 陈星,张志峰,李翻翻,等.基于 Excel-vba 的边坡监测数据自动化处理研究[J].工程与建设,2023,37(06):1748-1750+1767.
- [9] 张定忠,黄赞,王新胜.轨道监测数据自动化处理与分析系统的设计[J].工程建设与设计,2018,(16):264-265.
- [10] 李纳,毛俊涛,徐国胜.多台自动化全站仪联测系统在地铁保护监测中的实践[J].城市勘测,2023,(02):140-143+148.
- [11] 于晓红.地铁自动化变形监测系统数据处理方法研究[J].设备管理与维修,2021,(05):30-33.
- [12] 张子真,周宏磊,张建坤,等.Kalman 滤波在自动化监测数

据噪声处理上的应用研究[J/OL].岩土工程技术,1-4[2024-07-18].<http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3813.TU.20240601.2154.002.html>.

- [13] 郑艳,金鑫,侯林锋,等.既有线车站及区间隧道保护的自动化监测技术应用分析[J].地矿测绘,2022,38(01):9-15.
- [14] 陈喜凤,黄腾,刘岭,等.GeoMoS 在地铁保护区自动化监

测中的应用[J].测绘工程,2013,22(02):64-69.

版权声明: ©2024 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

