

免棱镜全站仪监测系统在机场滑行道变形观测中的应用研究

戴加东

上海勘察设计研究院(集团)有限公司, 上海

收稿日期: 2022年5月2日; 录用日期: 2022年5月16日; 发布日期: 2022年5月31日

摘要

盾构施工下穿浦东机场滑行道, 人工监测无法在机场滑行道正常开展, 由于滑行道变形的敏感性, 需实时进行沉降监测。为了解决上述技术难题, 本文采用免棱镜全站仪自动化监测的方式, 引入多重实时差分技术及建立小区域测量单元的方法, 构建全站仪自动化监测系统, 实现了机场滑行道无接触高精度自动化监测。根据监测数据, 自动化监测数值波动幅度较人工监测略大, 精度相当, 最大误差在0.5 mm以内, 平均误差在0.2 mm左右, 能满足工程应用的需求。

关键词

盾构施工, 沉降监测, 免棱镜全站仪, 自动化监测系统, 多重实时差分

Application of Prism Free Total Station in Airport Taxiway Subside Monitoring

Jiadong Dai

SGIDI Engineering Consulting (Group) Co., Ltd., Shanghai

Received: May 2nd, 2022; accepted: May 16th, 2022; published: May 31st, 2022

Abstract

In order to solve the problem of settlement monitoring in Pudong airport's shield construction under the taxiway, it is impossible to build the monitoring points manually, due to the sensitivity of taxiway deformation, settlement monitoring needs to be carried out in real time. In this paper, in order to solve the above technical problems, a method of automatic monitoring of the prism free total station is proposed. In the process of data processing, multi real time difference technique

and method of establishing small area measurement unit are introduced to ensure the accuracy of automatic monitoring, and the automatic monitoring platform of total station is constructed to realize real-time monitoring. The results of automatic monitoring and manual monitoring are compared and analyzed. The results show that the fluctuation range of automatic non-contact monitoring results is more obvious than that of artificial results, but the accuracy is equal, the maximum error is within 0.5 mm and the average error is about 0.2 mm, which can meet the needs of engineering application.

Keywords

Shield Construction, Subside Monitoring, Prism Free Total Station, Automatic Monitoring System, Multiple Real Time Difference

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

1. 引言

随着社会的发展,公路、高架桥梁已难以满足城市交通需求,全国已有 51 座城市进行了地铁建设。盾构法施工以安全性高、掘进速度快等优势成为城市地铁建设的主要工法。盾构地下施工作业,容易引起地层损失,造成周边环境出现不同程度的变形[1]。盾构施工过程中对周边环境变形进行监测,对于保障盾构施工安全非常重要。目前,盾构施工监测主要通过埋设监测标志,人工采用高精度水准仪进行测量,工作量大、效率低。全站仪自动化监测以自动、高效、高精度等特点在越来越多的工程中得到了广泛应用,具有很好的应用前景[1]。

机场滑行道作为机场的重要设施,平整度要求极高,必须确保其 24 小时安全运营,盾构施工下穿滑行道过程中对其进行变形监测尤为重要[2]。盾构穿越期间,监测工作面临滑行道上不可做实体测量标志、监测人员不可随时进入滑行道等要求,人工水准测量开展不便。本文以盾构穿越上海浦东机场滑行道项目为依托,构建了免棱镜全站仪监测系统,引入多重实时差分数据处理技术及小区域多点测量方法,实现了机场滑行道无接触变形自动化监测,通过与人工监测数据的对比分析,验证了免棱镜全站仪自动化监测方法的可行性,证明了全站仪监测系统的可靠性。

2. 免棱镜全站仪自动化监测系统研发

目前,仪器厂商及科研单位研发了各类基于全站仪自动化变形监测系统,但均存在运用场景固化、功能单一、通用性不强的缺点,大大制约了自动化监测系统推广应用。结合工程施工监测的特点,研发满足行业需求的基于全站仪自动化变形监测系统显得尤为重要。智能全站仪一般配合棱镜使用,由于机场滑行道特殊性,只能选择免棱镜模式,为了保证数据测量精度,对数据处理方法和测量方式提出了新的要求。基于盾构穿越滑行道项目需求,研发了全站仪自动化监测系统,以满足工程监测应用需求。

2.1. 系统设计

全站仪自动化监测系统由智能全站仪、通讯设备、信息化平台等部分组成。

智能全站仪采用 Leica TS30,其测角精度为 0.5",测距精度为 0.5 mm + 1 ppm,测程可达 3500 m。Leica TS30 支持棱镜、免棱镜距离测量模式,并利用单个激光二极管特性,使得对小边缘目标的免棱镜

距离测量更加准确可靠[3]。通讯设备采用由 GPRS 等模块构成的远程通讯系统,可进行双向通讯,实现数据传输及指令集执行等功能。信息化平台实现全站仪控制,数据分析处理及发布等等功能。

2.2. 信息化平台设计

信息化平台是自动化监测系统的核心,信息化平台实现对全站仪的操作,控制全站仪完成各项观测任务,进行测量数据的计算、分析,并展示监测成果,提供数据信息化服务,指导施工。

信息化成果展示是研发系统的特色部分,其界面如图 1,展示界面分为四个区域:数据汇总区、过程曲线图区、布点图、地质剖面图工况区,用“一张图”集成显示项目及成果信息。使用者可以将变形极值点或布点图测点,选择展示在过程曲线图上,当监测数据出现报警或异常,在分析报警点变化趋势的同时,查看地质资料及历史工况,便于分析原因及进一步措施的采取。

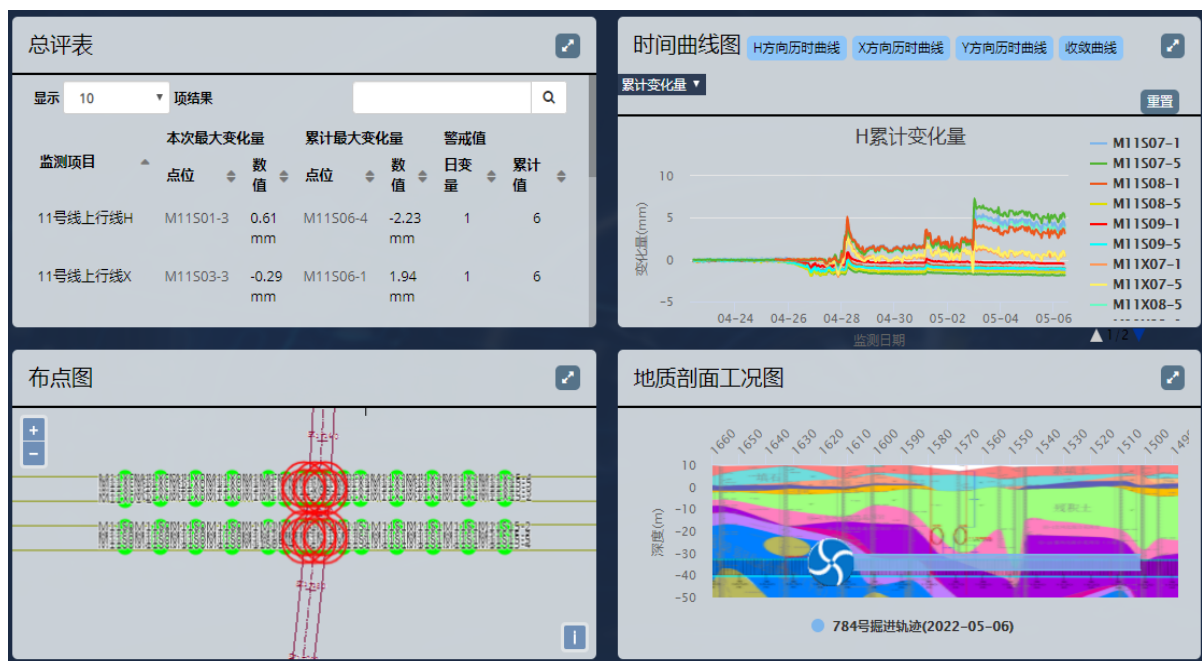


Figure 1. Information platform display interface

图 1. 信息化平台展示界面

3. 差分算法研究及测量方式改进

使用全站仪进行变形监测时,极坐标测量方式精度不高,因为极坐标获取的直接观测量为水平角、垂直角、斜距,这些数据容易受到大气水平折光、大气垂直折光、大气折射率以及仪器水平度盘零方向漂移的影响,从而大大降低了测量的精度。

3.1. 差分算法研究

对于监测精度要求较高的建构筑物安全监测系统来说,不能直接应用极坐标测量公式来计算。针对极坐标测量的特点,提出多重实时差分的方法,最大限度降低系统误差的影响,使自动高效的测量仪器用于建构筑物变形监测领域。

多重实时差分技术以第一周期获取的基准点数据为标准,将后续每期获得的基准点数据都与之比较,其差值认为是气象元素等原因所造成的数据差,进而用它来改正本周期所测得的各目标点的数据。采用

实时差分技术可对距离、高差和方位角进行差分改正。

1) 距离的差分改正

设测站至某基准点的已知斜距为 D_A^0 (第一周期观测值), 某周期实际测得的斜距为 D'_A , 两者间的差异可认为是气象元素的变化所引起的, 根据下式求出气象改正比例系数 ΔD :

$$\Delta D = \frac{D'_A - D_A^0}{D'_A}$$

那么监测点的差分改正距离 $\Delta D'_J$ 为:

$$\Delta D'_J = D'_J \cdot (1 + \Delta D)$$

2) 高差的差分改正

测站与各基准点之间的高差 Δh^0 是已知的。如果某周期测得的测站与某基准点之间的单向三角高差 h_j 为:

$$h_j = D_j \cdot \sin V_j + h - a_j$$

式中: V_j —— 竖直角, h —— 仪器高, a_j —— 棱镜高。

则, 根据下式可求出高差改正系数 Δc :

$$\Delta c = \frac{\Delta h^0 - h_j}{D_j^2 \cdot \cos^2 V_j}$$

那么监测点的差分改正后高差 $\Delta h'_j$ 为:

$$\Delta h'_j = h_j \cdot (1 + \Delta c)$$

3) 方位角的差分改正

基准点初次测量时获取的方位角 H_{AP}^0 作为基准方位角, 其它周期基准点测量的方位角 H'_{AP} 与基准方位角相比, 得到差值 ΔH_{AP} :

$$\Delta H_{AP} = H'_{AP} - H_{AP}^0$$

假定认为此差值是由于外界条件的影响而引起的。由于近似的认为外界条件的影响无论对基准点还是监测点都具有相等的影响, 所以在每周期监测点的实测方位角 H'_j 中, 实时加入由同期基准点求得的 ΔH_{AP} 改正值, 可以准确地求得监测点的方位角 $\Delta H'_j$ 。

$$\Delta H'_j = H'_j + \Delta H_{AP}$$

4) 监测点三维坐标和变形量的计算

经过以上的各项差分改正后, 就可以得到每周期各监测点的三维坐标:

$$\begin{cases} X_j = \Delta D'_j \cdot \cos \Delta H'_j + X_p \\ Y_j = \Delta D'_j \cdot \sin \Delta H'_j + Y_p \\ Z_j = \Delta h'_j + Z_p + h \end{cases}$$

其中, X_p 、 Y_p 、 Z_p —— 为测站的坐标值。

在变形监测中, 一般以监测点第一周期的坐标值 (X_j^1, Y_j^1, Z_j^1) 作为初始值, 那么各监测点的变形量(均相对于第一周期)可通过下式进行计算。

$$\begin{cases} \Delta X_j = X_j - X_j^1 \\ \Delta Y_j = Y_j - Y_j^1 \\ \Delta Z_j = Z_j - Z_j^1 \end{cases}$$

3.2. 小区域多点测量单元方法

全站仪测量采用免棱镜模式，测量精度进一步受限，必须采用技术手段保证测量精度。为了提高测试精度，减小偶然误差，提出小区域多点测量单元的方法，提高数据精度。以监测点为中心构建正方形或等边三角形(如图 2)，根据场地条件，边长取 5 cm~10 cm，形成测点单元。测量时，同步测量角点数据，该测点的变形量取监测点及角点变化量的均值，从而进一步提高测量精度。

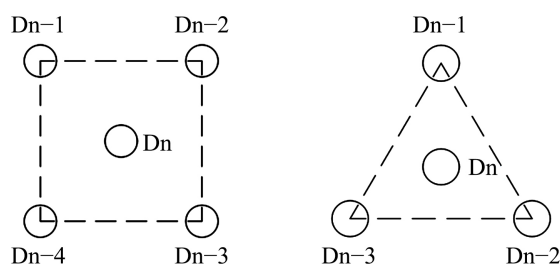


Figure 2. Setting mode of multi-point measurement in small area (square, equilateral triangle)

图 2. 小区域多点测量设置方式(正方形、等边三角形)

4. 工程应用

4.1. 工程概况

按照上海浦东国际机场的规划布局，对机场进行改扩建。施工范围涉及 T1 航站楼、S1 卫星厅以及 T2 航站楼、S2 卫星厅四座地下一层一岛两侧车站，并预留 T4 航站楼车站和一个车辆基地，分东线和西线独立运营。西线连接 T1 和 S1，东线连接 T2 和 S2，其中西线正线长约 2.35 km，东线正线长约 2.14 km，东、西线均采用盾构进行施工。

施工过程中 S1-T1 盾构隧道需穿越滑行道、服务车匝道、空管中心、登机桥桩基等，其中既有 F 类滑行道 2 根、新建 E 类滑行道 1 根。盾构与既有滑行道最小竖向距离为 13.21 m，与新建滑行道最小竖向距离为 12.47 m。根据设计单位要求，滑行道允许地层损失率仅 0.1%，允许变化量 5 mm，由于机场管理要求，对机场跑道实施自动化监测。

4.2. 监测实施

2017 年 6 月份左右盾构开始推进施工，8 月初施工到滑行道的影响范围内，开始对机场滑行道进行监测。

通过现场踏勘，在机场禁区外搭建 5.5 米高全站仪基站，基站位于盾构右边线 6 米与机场围界外 5.2 米交界处，可以观测到 250 m 范围内的监测点。在测区范围外布置四个控制点(图 3)，每次数据采集前通过四个控制点进行后视定向确定测站点的稳定性，控制点同时用于实时差分计算时的稳定点。在监测区域的滑行道上采用油漆涂刷的方式布置盾构轴线监测点，对于距基站较远测点采用建立小区域多点测量单元的方式进行选点。在正式开始测量之前，通过手动学习，使用全站仪免棱镜模式进行初始值采集，施工过程中通过远程控制的方式进行定时采集，项目设置采集频率为半小时一次。



Figure 3. Layout plan of base station and control points
图 3. 基站和控制点布设平面图

4.3. 成果分析

为了更好的验证自动化监测效果, 将一个月左右时间内(2017年8月15日~9月20日)全站仪免棱镜自动化监测数据与人工监测数据进行对比分析, 在此时间段内左线盾构施工到影响范围内, 右线盾构刚开始施工, 选择左线盾构轴线监测点 Z368、Z388 进行对比分析, 图 4、图 5 分别为监测点 Z368、Z388 的自动化和人工数据时程曲线图。

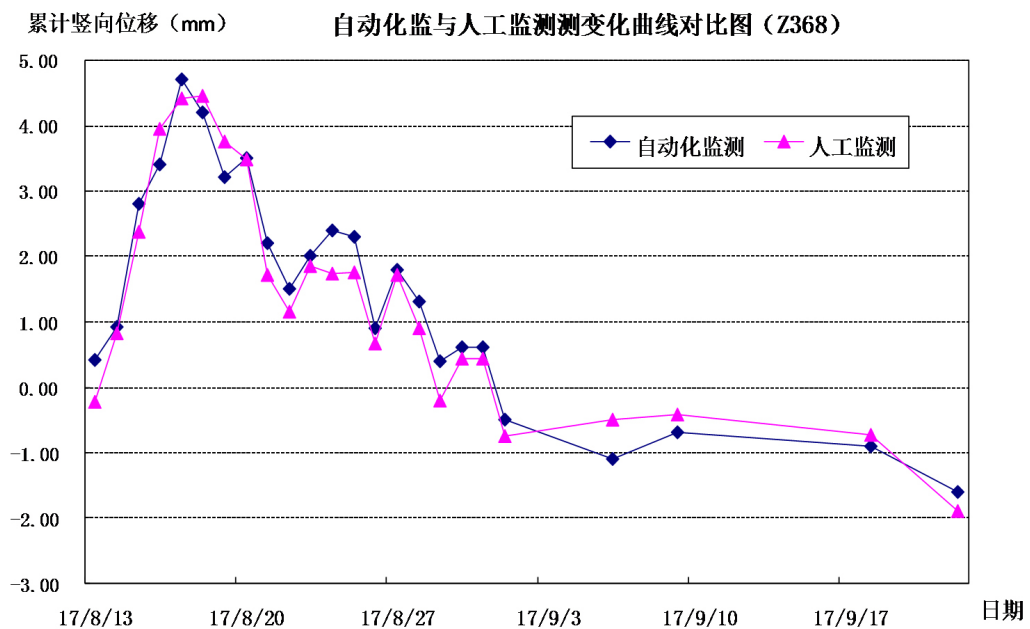


Figure 4. Time history curve of monitoring point Z368
图 4. 监测点 Z368 时程曲线

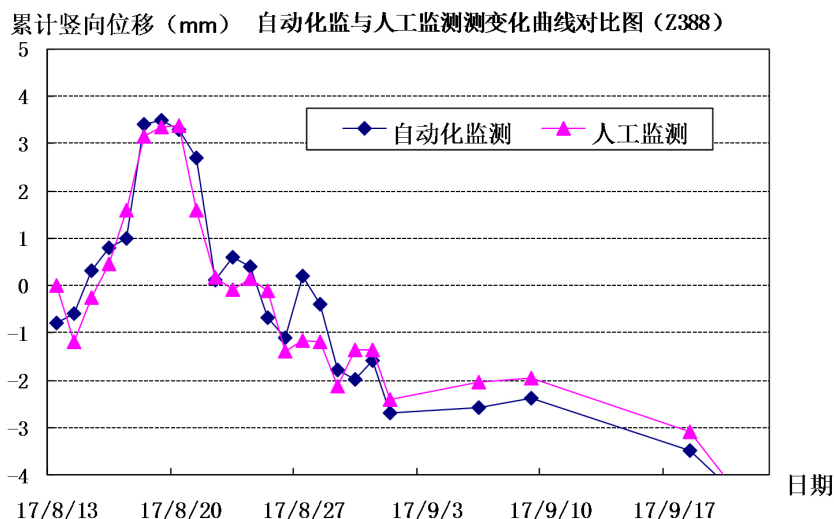


Figure 5. Time history curve of monitoring point Z388

图 5. 监测点 Z388 时程曲线

从图 4 可以看出, 自动化和人工监测数据均较好地反映了盾构施工机场滑行道地表变化规律。盾构刀盘在接近测点 Z368 前, 地表已有向上位移的趋势; 8 月 14 日盾构刀盘到达监测点 Z368 正下方时, 地表向上位移量迅速增大; 盾构机身穿越监测点位置时, 向上位移量仍然持续增加; 8 月 17 日盾尾脱出监测点 Z368 后, Z368 点出现向下位移的趋势。盾构下穿测点 Z368 期间, Z368 测点最大向上位移量小于 5 mm, 最大下沉量约 4 mm。

监测点 Z368、Z388 相距约 30 米, Z388 点距基站较远, 为了保证 Z388 点测量精度, 对 Z388 点采用小区域多点测量方式选点, 选点采用等边三角形方式, 考虑到机场滑行道整体刚度较大, 等边三角形边长取 10 cm。图 5 为 Z388 点人工和自动化对比曲线, 从曲线图上, 自动化数据和人工数据规律基本一致, 两者差距较小, 采用小区域多点测量变化量取平均的方法可以提高监测精度。

综合分析图 4、图 5, 自动化监测数据与人工数据趋势基本保持一致, 自动化监测结果波动幅度稍大于人工监测数据, 同时自动化监测数据略大于人工数据, 主要原因是工程施工时间在夏季, 地面温度和气压对监测有影响, 动态实时差分处理能够处理大部分的外界环境影响, 但当监测范围较大时, 对监测结果仍存在一定的影响, 比对人工和自动化数据, 相同监测时间段内最大误差在 0.5 mm 范围之内, 平均误差精度为 0.2 mm 左右, 满足监测精度的要求。

5. 结论

本文通过构建全站仪自动化监测系统, 提出多重实时差分技术和提高精度测量方法, 解决了盾构穿越浦东机场滑行道监测的难题, 为后续类似工程 提供有效的技术借鉴。通过工程实践, 可以得到如下结论:

- 1) 目前仪器厂家或科研生产单位开发的全站仪自动化平台存在一定局限, 可以根据工程监测的类型及项目特点, 建立信息化平台, 可更好的实现自动化监测和成果展示, 以实现信息化施工。
- 2) 采用全站仪进行精度要求较高的建构筑物安全监测, 可采用多重实时差分技术, 降低系统误差, 使自动高效的全站仪可用于建构筑物变形监测领域。
- 3) 对全站仪自动化变形测量, 可通过建立小区域多点测量单元, 对单元内测点变化测值取平均作为测点变化值的方式, 避免偶然误差, 进一步提高测量精度。
- 4) 通过工程实践, 验证了全站仪免棱镜非接触自动化监测数据的可靠性, 该方法可以应用于人员无

法进入区域的变形监测，可作为类似工程的监测技术手段。

参考文献

- [1] 王彪. 城市地铁盾构施工引起的地表沉降研究[J]. 基础工程设计, 2018(3): 39-40.
- [2] 羿生钻. 机场不停航条件下大跨度隧道穿越机场跑道沉降监测技术[J]. 国防交通工程与技术, 2015, 13(S1): 22-23.
- [3] 高俊强, 陶建岳. 利用免棱镜全站仪进行地铁隧道断面测量与计算[J]. 测绘通报, 2005(10): 41-43.