

## 地铁隧道自由设站变形监测起算点可用性分析

王姜凯

中铁第五勘察设计院集团有限公司, 北京 102600

[摘要] 文章提出了一种“随机抽样一致性算法+迭代权估计法”的自由设站变形监测起算点可用性分析算法, 并将其应用于地铁隧道位移监测项目中。实验结果表明, 该算法所获得的变动点探测效果均稳定在良好水平, 计算值误差相对较低, 所以具备极高的实用性与可靠性。

[关键词] 地铁隧道; 自由设站; 变形监测; 起算点

DOI: 10.33142/sca.v4i1.3572

中图分类号: P258

文献标识码: A

### Availability Analysis of Starting Point for Deformation Monitoring of Free Station in Subway Tunnel

WANG Jiangkai

China Railway Fifth Survey and Design Institute Group Co. Ltd., Beijing, 102600, China

**Abstract:** In this paper, a new algorithm of "random sample consensus algorithm + iterative weight estimation" is proposed to analyze the availability of the starting point of deformation monitoring for free station and it is applied to the subway tunnel displacement monitoring project. The experimental results show that the change point detection effect of the algorithm is stable at a good level and the calculation error is relatively low, so it has high practicability and reliability.

**Keywords:** subway tunnel; free station; deformation monitoring; starting point

#### 引言

地铁隧道工程在当前得到了重点推广施工, 逐步成为我国交通系统中的重要部分。出于对地铁隧道工程质量与安全性的考量, 必须要对其结构变形展开实时性监测。而在当前的实践中, 为了完成上述目标, 普遍使用的方法为使用自由设站极坐标的方式对地铁隧道变形区域断面上设置的监测点实施观测, 以此确定出隧道变形情况。在此过程中, 必须要提前完成对地铁隧道自由设站变形监测起算点可用性的准确分析。

#### 1 自由设站起算点可用性两步法判断流程分析

在本次研究中, 所选用的算法为随机抽样一致性算法, 以此完成对坐标转换关系初值的计算; 在此基础上, 利用迭代权估计法获取最终的转换关系。计算流程主要如下: 第一, 对已知的基准点坐标(数量设定为 $N$ )进行录入, 并将基准设置为坐标初值。读取第 $k$ 期自由设站观测数据, 并以此为基础完成相应坐标系下此期观测各个基准点坐标的计算。第二, 应用随机抽样一致性算法进行对基准坐标系、第 $k$ 期测站坐标系多个参数(包括各个方向的移动值、尺度参数、旋转角)转换关系的计算, 并将该坐标转换关系设置为初值, 以此为基础实现坐标转换各个观测值残差、单位权重误差的计算<sup>[1]</sup>。第三, 确定出定权函数, 为所有基准点权值实施再一次的平差计算, 以此获得坐标转换参数、坐标转换各个观测值残差、单位权重误差。迭代展开上述操作, 当发现单位权重误差的变化情况低于给定阈值时方可停止<sup>[2]</sup>。

#### 2 地铁隧道自由设站变形监测起算点可用性分析的实例验证

##### 2.1 项目概述

在本次研究中, 主要选定某地铁线路的一站作为样本区域, 在该站内, 左侧设置5个变形监测点、右侧设置4个变形监测点, 以这9个变形监测点作为研究样本。实践中, 在地铁断面上加设的目标棱镜(依托专用的L型固定平台实现), 并同时加设三维位移平台(型号选用TM202M, 最小读数为0.01mm, 分辨率为0.002mm, 摆头的误差稳定在30"以下, 微分头驱动), 保证某一轴向与隧道走向始终稳定在平行状态下。

实例分析验证的过程中, 将隧道走向设定为 $X$ 轴, 并在垂直于 $X$ 轴方向设置 $Y$ 轴, 将地面沿垂直方向设定为 $Z$ 轴。同时, 设计动点方案为单点 $L2$ ; 同侧两点 $L2$ 与 $L4$ ; 异侧两点 $L2$ 与 $R2$ ; 异侧3点 $L2$ 、 $L3$ 与 $R3$ ( $L$ 为左侧、 $R$ 为右侧, 数字沿隧道前进方向由大至小), 在不同的方向上分别对不同的动点方案进行3mm、6mm、12mm的位移。使用可用性判断算法的完成动点偏移量的计算, 并对比实际值。

## 2.2 结果分析

### 2.2.1 不同动点方案下已知点可用性探测结果分析

在上述实验过程下,得到的不同动点方案下已知点可用性探测数据结果如下所示:第一,动点方案为单点 L2。在位移 3mm 时,动点个数为 1 个,检出点为 L2,不动点误检数为 0;在位移 6mm 时,动点个数为 1 个,检出点为 L2,不动点误检数为 0;在位移 12mm 时,动点个数为 1 个,检出点为 L2,不动点误检数为 0。第二,动点方案为同侧两点 L2 与 L4。在位移 3mm 时,动点个数为 2 个,检出点为 L2 与 L4,不动点误检数为 0;在位移 6mm 时,动点个数为 2 个,检出点为 L2 与 L4,不动点误检数为 0;在位移 12mm 时,动点个数为 2 个,检出点为 L2 与 L4,不动点误检数为 2。第三,动点方案为异侧两点 L2 与 R2。在位移 3mm 时,动点个数为 2 个,检出点为 L2 与 R2,不动点误检数为 0;在位移 6mm 时,动点个数为 2 个,检出点为 L2 与 R2,不动点误检数为 0;在位移 12mm 时,动点个数为 2 个,检出点为 L2 与 R2,不动点误检数为 0。第四,动点方案为异侧 3 点 L2、L3 与 R3。在位移 3mm 时,动点个数为 3 个,检出点为 L2、L3 与 R3,不动点误检数为 0;在位移 6mm 时,动点个数为 3 个,检出点为 L2、L3 与 R3,不动点误检数为 0;在位移 12mm 时,动点个数为 3 个,检出点为 L2、L3 与 R3,不动点误检数为 2。

综合来看,无论动点方案、位移距离如何变化,应用本文所述算法所获得的变动点探测效果均稳定在良好水平,可以准确定位出变动点,且不动点误检数普遍 0。需要注意的是,在位移距离相对较大时(12mm),该算法会发生误判,进一步分析误判原因能够了解到:地铁变形监测的已知点数量较少,同时在迭代计算坐标转换中,并没有删除疑似动点,反而使用减小权重的方法做出处理。在这样的条件下,如果变动点的位移距离增大,那么会一定程度影响坐标转换关系的最终结果。

### 2.2.2 不同动点方案下已知点在 Y 轴方向产生位移量的分析

在实际的地铁隧道结构变形监测过程中,普遍会重点关注 Y 轴方向的位移。在本次实验中,得到的结果数据如下所示:第一,动点方案为单点 L2。在位移 3mm 时,在 Y 轴方向产生位移量计算值为 2.6mm;在位移 6mm 时,计算值为 5.8mm;在位移 12mm 时,计算值为 10.8mm。第二,动点方案为同侧两点 L2 与 L4。在位移 3mm 时,在 Y 轴方向产生位移量计算值分别为 2.7mm 与 3.2mm;在位移 6mm 时,计算值分别为 5.5mm 与 6mm;在位移 12mm 时,计算值分别为 11.2mm 与 11.2mm。第三,动点方案为异侧两点 L2 与 R2。在位移 3mm 时,在 Y 轴方向产生位移量计算值分别为 3.5mm 与 4mm;在位移 6mm 时,计算值分别为 6.8mm 与 7.3mm;在位移 12mm 时,计算值分别为 13.8mm 与 15mm。第四,动点方案为异侧 3 点 L2、L3 与 R3。在位移 3mm 时,在 Y 轴方向产生位移量计算值分别为 3.5mm、3mm 与 3.9mm;在位移 6mm 时,计算值分别为 6.8mm、5.6mm 与 7.8mm;在位移 12mm 时,计算值分别为 14.4mm、11.4mm 与 15.1mm。综合来看,75%的位移动量计算值与实际位移值之间的差距不高于 20%;差距在 1mm 及以内的计算值占比 75%;差距在 0.5mm 及以内的计算值占比 41.7%,证明该算法的计算值误差相对较低。

### 2.2.3 单点、两点随机位移实验探测效果分析

为了进一步验证本文所述算法的可操作性,随机选取某期中单点、两点随机加入-5mm 至 5mm 之间的一个位移量,以此确定检出率。重复 200 次实验操作,以位移量级为 2-3mm 时得到结果数据进行说明。此时,单点检出率达到 92.5%,38.4%的位移动量计算值与实际位移值之间的差距不高于 20%,差距在 1mm 及以内的计算值占比 91.5%,差距在 0.5mm 及以内的计算值占比 79.3%;两点检出率达到 86.5%,29.6%的位移动量计算值与实际位移值之间的差距不高于 20%,差距在 1mm 及以内的计算值占比 83.8%,差距在 0.5mm 及以内的计算值占比 65.4%。综合来看,判断错误的现象在已知点中同时存在两个同侧点发生位移的情况下更为常见,这与前文所得到的实测结果之间具有一致性。

## 3 总结

综上所述,使用随机抽样一致性算法配合迭代权估计法即可完成对地铁隧道自由设站变形监测起算点可用性的分析,实验结果显示:该算法所获得的变动点探测效果均稳定在良好水平,可以准确定位出变动点;判断错误的现象在已知点中同时存在两个同侧点发生位移的情况下更为常见,该算法的计算值误差相对较低。换言之,该算法具有实用性与可靠性。

### [参考文献]

[1] 杨文华. 地铁隧道自由设站变形监测起算点可用性研究[J]. 地理空间信息, 2019(01): 111-112.

[2] 贾佳, 邓文彬, 马琳. 后验方差法对地铁隧道变形数据的处理与分析[J]. 地理空间信息, 2018(10): 104-106.

作者简介: 王姜凯(1994.3-)男, 毕业院校: 天津国土资源和房屋职业学院; 现就职单位: 中铁第五勘察设计院集团有限公司。