

平均间隙法在地铁隧道保护区中的应用研究

李志刚

江苏南京地质工程勘察院 江苏南京 210041

摘要:近年来,随着现代化城市进程的发展,地铁行业也随之发展起来。在现阶段的城市建设中,已建设或者正处于建设中的地铁建设项目数量较大,当地铁项目在进行深基坑的开挖时,严重的影响到隧道周围的图层压力,导致隧道出现位移、沉降,在一定程度上影响到隧道保护区内的沉降监测网。基于此种情况,本文利用平均间隙法来分析监测网的稳定性,并将监测网中一些不稳定的点查找出来,利用相应的工程案例来验证这种方法的可行性。

关键词:地铁隧道保护区;基准网稳定性分析;平均间隙法

Research on the application of mean gap method in subway tunnel protection zone

Zhigang Li

Jiangsu Nanjing Geological Engineering Survey Institute, Nanjing, Jiangsu, 210041

Abstract: In recent years, with the development of the modern city, the subway industry has also developed. In the current stage of urban construction, the number of subway construction projects that have been built or are under construction is large. When a deep foundation pit is excavated in the subway project, the layer pressure around the tunnel is seriously affected, resulting in displacement and settlement of the tunnel, which affects the settlement monitoring network in the tunnel protection area to a certain extent. Based on this situation, this paper uses the average gap method to analyze the stability of the monitoring network, finds out some unstable points in the monitoring network, and uses the corresponding engineering cases to verify the feasibility of this method.

Keywords: subway tunnel protection area; Stability analysis of datum network; Average gap method

在地铁隧道工程的建设的过程中,深基坑的开挖阶段会影响到隧道周围的土层压力,严重的影响到隧道安全。为了保证地铁的运行安全,对铁路保护区进行监测十分重要。但是,在实际建设过程中,由于都到地质环境的影响,使得基准网点的稳定性遭到破坏,这样监测得到的隧道位移结果就会受到严重影响,从而使得隧道质量遭到威胁。因此,在进行隧道监测的过程中,首先需要检测其基准网是否稳定^[1]。此外,在进行监测时,应从基准网的整体与布局来进行,在这种情况下,本文采用了平均间隙法,这对于监测基准网中不稳定点有重要作用。

一、平均间隙法

平均间隙法的基本原理为:当相邻的两个基准点高程未出现任何变化时,可以将其用来计算相应的单位权方差估值 (θ^2)。除此之外,在按照相应的规范进行监测时,同一种监测方式只能用于同个项目,并且监测路径需保持相同,同时检测仪器、人员都应保持相同,都需在同一监测环境进行。因此,在监测时,可以将监测的进度作为相同值,以此来计算两期的观测值。此外,在统计过程中,要保持 θ^2 与 μ^2 独立,并且利用构造服从 F 分布的统计量来检验两者是否具有有一致性。当两者具有有一致性时,表明监测网点并未发生偏移现象;当两者不具有有一致性,表明

监测网点并发生偏移现象,这时可以利用分块检验的方法来查找不稳定点^[2]。

1.1 整体检验

选取两期观测数据来进行检验,并利用平差来计算 μ^2 。

$$\begin{cases} u_1^2 = \frac{(V^T PV)^1}{f_1} \\ u_2^2 = \frac{(V^T PV)^1}{f_2} \end{cases}$$

式中: f_1 、 f_2 为两期数据多余观测量;可利用下列公式来计算相对应的 θ^2 。

$$u^2 = \frac{(V^T PV)^1 + (V^T PV)^2}{f}$$

式中: $f = f_1 + f_2$ 。

当基准点的高程具有一定差异时,可利用相对应的高程差来计算其 θ^2 , 即:

$$\theta^2 = \frac{\Delta X^T P_{\Delta X} \Delta X}{f_{\Delta X}}$$

式中: $P_{\Delta X} = Q_{\Delta X}^{-1} = (Q_{\Delta X_1} + Q_{\Delta X_2})^{-1}$, $f_{\Delta X}$ 为处于独立状态高差的 ΔX 个数。通过 F 检验法来进行相应的检验, 检验的公式如下:

$$F = \frac{\theta^2}{u^2}$$

在假设 H_0 条件下, 当 F 与 $f_{\Delta X}$ 、 f 相符合时, 可以通过下列计算公式来判断。

$$P = \langle F > F_{1-\alpha}(f_{\Delta X}, f) | H_0 \rangle = \alpha$$

式中: α 表示置信水平, 取值范围在 0.05-0.01 之间, 并且可以利用 α 和 $f_{\Delta X}$ 、 f 来计算相应的 $F_{1-\alpha}(f_{\Delta X}, f)$ 值。此外, 当 F 小于对应的分位值时, 则可以说明假设成立, 此时基准点处于稳定状态, 当 F 大于对应的分位值时, 说明假设不成立, 此时基准点处于不稳定状态, 并且发生位移现象, 可通过分块检验的方法来查找不稳定点。

1.2 分块检验

为了便于分块检验, 可以将监测网基准点分为稳定组 F 与不稳定组 M。由于人为分组存在一定的缺陷, 导致稳定组 F 中依然会存在不稳定点。因此, 在检验不稳定组时, 也需要检验稳定组。在将稳定组 F 与不稳定组 M 进行分块后, 可得到:

$$\Delta X^T = (\Delta X_F^T : \Delta X_M^T)$$

$$P_{\Delta X} = \begin{bmatrix} P_{FF} & P_{FM} \\ P_{MF} & P_{MM} \end{bmatrix}$$

由于 ΔX^F 、 ΔX^M 相关, 当 $P_{FM} = P_{MF} \neq 0$ 时, 可以用以下公式进行变换。

$$\begin{cases} \Delta \bar{X}_M = \Delta X_M + P_{MM}^{-1} P_{MF} \Delta X_F \\ \bar{P}_{PP} = P_{FF} - P_{FM} P_{MM}^{-1} P_{MF} \end{cases}$$

由此可得:

$$\Delta X^T P_{\Delta X} \Delta X = \Delta X_F^T \bar{P}_{FF} \Delta X_F + \Delta \bar{X}_M^T P_{MM} \Delta \bar{X}_M$$

式中, 将 $\Delta X^T P_{\Delta X} \Delta X$ 分成 $\Delta X_F^T \bar{P}_{FF} \Delta X_F$ 与 $\Delta \bar{X}_M^T P_{MM} \Delta \bar{X}_M$ 两部分, 前者可以用于检验 F 组的稳定性, 后者可以用于检验 M 组的稳定性。在令

$$\theta_F^2 = \frac{\Delta X_F^T \bar{P}_{FF} \Delta X_F}{f_F}$$

此时就可以通过 F_1 来检验 F 组的稳定性。即

$$F_1 = \frac{\theta_F^2}{\mu^2}$$

在分析后发现, 当分位值大于 F 时, 便可以中断分析。当分位值小于 F 时, 便继续进行不稳定点的搜索, 将剩余点重新分组, 将值最大的点作为可能存在不稳定的点。在将最大值的点提取以后, 在分析剩余的点。如果相应的检验通过, 则表明剩余点具有稳定性, 如果检验不通过, 则进行下一步的搜索工作, 直到检验通过^[3]。

二、工程概况

以某地铁站为例, 该车站的周围建设得有多栋高层楼房, 层高在 62.5-70m 之间。由于周围的建筑层高相对较高, 在进行深基坑开挖时, 其开挖深度应大于等于 12.5m, 并且水平净距应小于等于 14.2m。因此, 在深基坑开挖过程中, 应做好相应的监测保护工作。在沉降观测的过程中, 其基准点的布置范围应在区域的 80-120m 之内。因此, 本项目在基坑的施工影响区域布置了 4 个基准点, 这 4 个基准点分别为 JY1、JY2、JY3、JY4, 其中 JY1 的高程为 153344m。在基准网的观测过程中, 应将所有基准点布设成一条完整的闭合路线, 以便于观测工作顺利进行。基准网的线路示意图如图 1 所示。

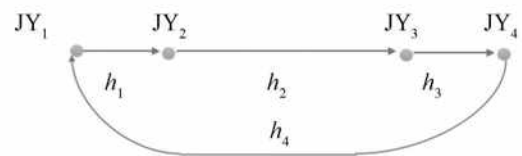


图 1 基准网的线路示意图

选取两期观测数据进行检验, 其中闭合线路高差和长度详见表 1。

表 1 各闭合线路高差及长度

序号	线路号	复测高差 1(m)	线路长度 1(m)	复测高差 2(m)	线路长度 2(m)
1	h ₁	0.08086	40	0.08081	40
2	h ₂	4.41718	400	4.41731	400
3	h ₃	0.39259	40	0.39050	40
4	h ₄	-4.89060	500	-4.88876	500

从表中可以明确看出, 选择的两期数据均符合相关要求。因此, 可以将其选择的监测点作为检验点^[4]。其中,

平差的到的高差与高程可以利用下列矩阵进行表示。

$$\begin{matrix} \hat{h}_1 \\ \hat{h}_2 \\ \hat{h}_3 \\ \hat{h}_4 \end{matrix} = \begin{matrix} 0.0808 \\ 4.4170 \\ 0.3926 \\ -4.8905 \end{matrix} \text{ (mm); } \begin{matrix} H_1 \\ H_2 \\ H_3 \\ H_4 \end{matrix} = \begin{matrix} 15.3344 \\ 15.4152 \\ 19.8323 \\ 20.2249 \end{matrix} \text{ (m)}$$

则有 $\Delta H = [0 \ -1 \ 0 \ -2.1]^T$ (mm),

$$P_{\Delta X} = Q_{\Delta X}^{-1} = \begin{bmatrix} 12.5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1.25 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 12.5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

在通过 1.1 中的公式计算后, 得出单位权方差估值为 1.44183, 联合单位权方差为 0.06365。则可以算出相应的统计量为 22.65。当置信水平为 0.05, $F_{0.05}(3, 2)=9.552$ 小于置信水平时, 两期的基准网都出现的位移现象。

在通过分块检验法检验以后, 将高程变化最大的 JY4 对应的基准点除去, 然后在剩下的点进行统计量检测, 得出 $F=5.248$ 。当置信水平为 0.05, $F_{0.05}(2, 2)=19.0$ 大于统计流量 F 时, 两期的基准网均未出现位移现象^[5]。

三、结语

综上所述, 在地铁保护区监测过程中, 所得到的的监

测结果与基准点有着十分密切的关系, 当基准点稳定性较高时, 其监测结果就相对准确; 当基准点稳定性较差时, 其监测结果准确性就会相应降低。本文在结合工程实例验证平均间隙法的有效性后, 发现该方法能够精准的查找出基准网中的不稳定基准点, 所以证明这种方法适用于检验基准网的稳定性。经验证发现, 平均间隙法的有效性会受到观测数据闭合差的影响。因此, 在对基准点稳定性进行分析时, 必须要选择观测性较高的观测数据, 以此来保证分析结果准确。

参考文献:

- [1] 滕焕乐, 聂虎啸, 刘成龙. 平均间隙法的一种改进算法[J]. 铁道勘察, 2018, 44(2): 8-12.
- [2] 张洋, 钱陈栋. 在建地铁隧道保护区监测方法的研究[J]. 市政技术, 2020, 38(3): 156-158, 161.
- [3] 雷云峰. 地铁保护区隧道变形监测方法与数据分析 [J]. 警戒线, 2020(40): 149-150.
- [4] 王军, 张茂顺, 安庆军, 等. 浅析地铁保护区结构监测基准网的优化设计[J]. 城市勘测, 2020(6): 156-159, 163.
- [5] 张颖君, 董先龙. 地铁安全保护区内高层建筑施工对隧道的影响计算及分析[J]. 建筑与装饰, 2020(12): 107-108.