地矿测绘
Geological and Mineral Surveying and Mapping
第 5 卷◆第 4 期◆版本 1.0◆2022 年
文章类型：论文|刊号（ISSN）：2630-4732 /（中图刊号）：561GL001

沉降变形监测基准点稳定性分析

杨盛波
广东省水文地质大队

DOI:10.12238/gmsm.v5i4.1406

[摘　要] 变形监测是对物体进行监测以确定其空间位置及内部形态随时间的变化特征的一种手段,而要保证监测结果的可靠性,就要保证监测基准点的稳定性。本文则基于两个变形监测实例,运用平均间隙法与分块间隙法相结合分析方法,通过对多期基准点观测数据,分析其中不稳定点,通过计算实例说明了其可行性,该方法能准确有效分析出不稳定的基准点。

[关键词] 变形监测；基准点；稳定性分析；平均间隙法；分块间隙法
中图分类号：X83　文献标识码：A

Stability Analysis of Datum Point for Settlement Deformation Monitoring

Shengbo Yang
Guangdong Provincial Hydrogeological Brigade

[Abstract] Settlement deformation monitoring is an important means to monitor the safety of deformation body. To ensure the reliability of monitoring results, it is necessary to ensure the stability of monitoring benchmark. This paper is based on two deformation monitoring examples, combined with the average gap method and the block gap method, extracts the unstable points from the multi period datum point observation data, and illustrates its feasibility through a calculation example, and this method can accurately and effectively analyze the unstable datum points.

[Key words] deformation monitoring; datum point; stability analysis; average gap method; block gap method

在沉降变形监测工程中,基准点是变形监测的前提,主要原理是以基准点作为后视定向点或控制点,通过获取多期监测点的数据而得到监测点的变形情况,可见基准点是否稳定是保证测量精度的关键。基坑变形监测是持续一个长期的过程,基准点容易受到环境因素的影响而发生不稳定性,因此对变形监测基准点进行稳定性分析至关重要。本文结合平均间隙法与分块间隙法对两工程沉降变形监测的基准点进行稳定性分析,提取出了其中不稳定的基准点。

1 基准点稳定性分析的必要性

基准点的作用是为测定埋设在变形体上的监测点发生绝对位移提供参考系。为了能够探测出不稳定的基准点,一般埋设多个基准点构成一个基准网。通过定期对基准网的复测来检查基准点是否稳定,并将不稳定的基准点剔除。但是当参考点的位移不大时,需要一种发现位移较小的参考点的方法。对沉降和水平位移监测基准网进行稳定性分析,并根据稳定性分析结果选择平差方法、确定一个有助于变形分析的参考系,是变形观测数据处理的一项关键任务。

2 用平均间隙法判断相对稳定点

坐标差的产生的原因：一是监测点在两次观测期间发生位移、变动的影响；二是源于两期观测偶然误差、外界引起的环境误差等。当位移量比观测误差大很多时,能直观清楚的得出监测点移动与否的论断。如果实际位移量跟观测误差相接近的话,就得借助数理统计假设检验手段。在这种特殊情形下,可以从两方面采取措施：一是要提高观测精度,二是成果处理上尽可能精确地把观测误差和位移进行区分。

2.1平均间隙法

平均间隙法师德国学者Pelzer在1971年提出的稳定性分析法。它的基本原理有如下三点：

(1)经两期观测,独立进行平差,计算出两期各监测点的坐标值并且同名的两期数据各不相同。

(2)如果两期的同点未有位移,坐标差归为观测误差,与经验方差比较和检验。

(3)两个方差的比所构成的统计量服从F分布,用这个统计量进行检验,若两个方差相等则出自同一统计总体,坐标值的差完全由观测误差所引起的,进而得出点位没有移动,否则点位产生了位移。

文章类型：论文|刊号（ISSN）：2630-4732 /（中图刊号）：561GL001

2.2整体检验

通过对每一周期观测的成果进行平差并计算单位权方差的估值：

$$S_{01}^2=\frac{(V^TPV)_{\mathrm{I}}}{f_1} \tag{1}$$

$$S_{02}^2=\frac{(V^TPV)_{\mathrm{II}}}{f_1} \tag{2}$$

通常每个监测周期的测量精度是一样的,可以将S_{01}^2，S_{02}^2一并求出共同的单位权方差估值,即：$S_0^2=\frac{(V^TPV)_{\mathrm{I}}+(V^TPV)_{\mathrm{II}}}{f}$

(3)式中f为两期自由度之和,即$f=f_1+f_2$。

作假设H_0：两期观测点没有移动,那么用这两个周期所求得的坐标差(即所谓间隙)d,(i=1,2,…,t)来计算另一方差估值：$\bar{S}_0^2=\frac{(d^TP_dd)}{h}$式中h=R(A)为独立的d的个数；$d=X_{\mathrm{II}}-X_{\mathrm{I}}$,$P_d$为d的权阵。

当采用经典网平差时$p_d=Q_d^{-1}=(Q_{X_{\mathrm{I}}}+Q_{X_{\mathrm{II}}})^{-1}=\frac{1}{2}Q_{XX}^{-1}=\frac{A_0^TA_0}{2}$ (5)，

当采用秩亏自由网平差时$p_d=Q_d^{+}=\frac{1}{2}Q^{+}=\frac{A^TA}{2}$ (6)

可以证明方程估值$\bar{S}_0^2$，S_0^2是相互独立的,利用F检验法可以组成统计量：$F=\frac{\bar{S}_0^2}{S_0^2}\sim F(h,f)$ (7)

选用显著水平α(一般α=0.05或0.01)。通过以上问题的统计性质可知,主要分析是否大于,此分析方法属于右尾检验,即将算出的F和F分布表查出的Fα分位值进行比较：

(1)如果$F<F_\alpha$,则原假设成立,即认为点位是稳定的,变形分析完毕。

(2)如果$F>F_\alpha$,则原假设不成立,即确定点位发生了变动。

2.3局部检验(分块间隙法)

分块间隙法是将监测点分成稳定与不稳定两部分,分别用F和M表示,坐标差(间隙)矢量为：

$d^T=\begin{pmatrix}d_F^T & d_M^T\end{pmatrix}$,则

$$d^TP_dd=d_F^TP_{FF}d_F+2d_F^TP_{FM}d_M+d_M^TP_{MM}d_M \tag{8}$$

式中,P_{FF}为稳定部分的权阵；P_{MM}为不稳定部分的权阵；P_{FM}为稳定与不稳定部分的协权阵。为了能让以上式子区分为动点和稳定点的两个独立的部分,令：

$$d^TP_dd=d_F^T\bar{P}_{FF}d_F+\bar{d}_M^TP_{MM}\bar{d}_M \tag{9}$$

由此获得：

$$\bar{P}_{FF}=P_{FF}-P_{FM}P_{MM}^{-1}P_{MF} \tag{10}$$

$$\bar{d}_M=d_M+P_{MM}^{-1}P_{MF}d_F \tag{11}$$

这样就将d^TP_dd分成了两项,前一项检验F这一组点的稳定性,后一项检验M这一组点的稳定性。

平时工作中,通常运用平均间隙法来证实已发生移动后,再假设另外个点可能变动(即M组中只有一个点)；并选择与

$$\bar{d}_{M_j}^TP_{M_jM_j}\bar{d}_{M_j}=\max(\bar{d}_{M_i}^TP_{M_iM_i}\bar{d}_{M_i})\quad (i为1,2,\dots,t) \tag{12}$$

所相应的j点作为可能变动的点。在剔除j点后,其余点的稳定性则由统计量：

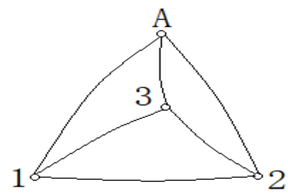
$F_1=\frac{\bar{S}_F^2}{S_0^2}$ (13)的检验决定,式中$\bar{S}_F^2=\frac{d_F^T\bar{P}_{FF}d_F}{h_f}$ (14)

当F_1小于相应分位值时,分析即告完成,否则继续剔除可能移动的点,继续检验直到接受原假设为止。

3 实际案例分析

3.1案例1

如图为某沉降监测网,两周期的观测值列于表中,HA=35.500,试检验其余网点的稳定性。



高差	H_{A1}	H_{12}	H_{2A}	H_{A3}	H_{31}	H_{23}
测值1(mm)	45.2	265.8	-310.3	-26.2	70.8	-336.5
测值2(mm)	44.9	265.6	-310.2	-26	70.6	-336
权P	1	2	1	2	2	2

(1)列误差方程式和解方程

(2)构造统计量

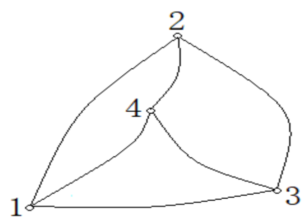
$$S_0^2=\frac{(V^TPV)_{\mathrm{I}}+(V^TPV)_{\mathrm{II}}}{f}=\frac{0.269+0.100}{2(6-3)}=0.0616,$$

$$\bar{S}_0^2=\frac{(d^TP_dd)}{h}=\frac{0.366}{3}=0.122,\ F=\frac{\bar{S}_0^2}{S_0^2}=\frac{0.122}{0.0616}=2$$

(3)检验：选择α=0.05,查得F0.05(3,6)=4.8,因为F<F0.05(3,6),故认为观测周期期间点位没有发生变动。

3.2案例2

如图为一水准网,根据两周期观测资料自由网平差求得点位变动量。



$$d=\begin{bmatrix}-0.441\\0.384\\0.461\\-0.405\end{bmatrix}\quad p_d=Q^+=\begin{bmatrix}3.8100 & -1.5000 & -1.5000 & -0.8100\\ & 4.9999 & 3.8100 & -2.9999\\ & 对 & 3.5000 & -1.5000\\ & & 称 & 5.3100\end{bmatrix}$$

两期联合平差求得联合方差估值$S_0^2=0.3233^2$。接下来判断两周期观测期间水准点的相对稳定点组。

(1)求统计量$\overline{S}_0^2=\dfrac{(d^TPad)}{h}=\dfrac{5.2377}{3}=1.7458$

$$F=\frac{\overline{S}_0^2}{S_0^2}=16.703$$

选择α=0.01,查得$F_{0.01}(3,5)=12.1$,因为$F>F_{0.01}(3,5)$,故认为观测周期期间点位发生了变动。

分别将点1、点2、点3、点4看作是动点,利用(11)式第一次计算变化后的$\overline{d}_M$,再由(12)式计算$\overline{d}_{M_1}^TP_{M_1M_1}\overline{d}_{M_1}$

例如对第一点有：

$$\overline{d}_M=d_{M_1}+P_{M_1M_1}^{-1}P_{M_1F}d_F=0.441+(0.38100)^{-1}$$

$$(-1.5000,-1.5000,-0.8100)\begin{pmatrix}0.384\\0.461\\-0.405\end{pmatrix}$$

$$=0.441-0.246=-0.687$$

$$\overline{d}_{M_1}^TP_{M_1M_1}\overline{d}_{M_1}=(-0.687)^T(3.8100)(-0.687)=1.7982$$

同法可求得2、3、4点的$\overline{d}_{M_i}^TP_{M_iM_i}\overline{d}_{M_i}$,分别为2.5421,2.0676,2.4917。2点值最大,故怀疑2点发生变动,剔除2点。由(12)式计算$\overline{P}_{FF}$,再计算$\overline{S}_F^2=\dfrac{d_F^T\overline{P}_{FF}d_F}{h_f}=2.6936$对点1、点3、点4重新组成统计量$F_1=\dfrac{\overline{S}_F^2}{S_0^2}=\dfrac{2.6936/2}{0.3233^2}=12.88$

其值小于$F_{0.01}(2,5)=13.3$,因而点1、点3、点4可作为相对稳定点组。

4 结论

本文通过两个沉降基准网实例用平均间隙法与分块间隙法相结合对变形网的基准点进行稳定性分析发现：

(1)当水准网中单点(也可多点)发生位移时,用平均间隙法判断位移点效果良好。

(2)在变形基准网观测中,我们进行沉降观测和水平位移观测过程中,都要尽量确保基准点维持稳定状态,虽不能确保所有点稳定,但是至少确保有一组是稳定的,以作为改正变形点的依据。变形监测网一般范围不大,而精度要求较高,从保证成果可靠方面考虑,对监测网的稳定性检验是很必要的。

(3)本文通过对于变形监测的实例进行了分析,平均间隙法与分块间隙法相结合大大减少了基准点稳定性分析的工作量,不再需要逐点进行检查,更加方便简易的检测出不稳定的基准点。

[参考文献]

[1]金武正,何军.隧道变形监测基准点的稳定性分析[J].北京测绘,2020,34(3):282-284.

[2]严丽娟,郝传才.变形监测网稳定性检验与灵敏度分析[J].铁道勘察,2005,(4):15-18.

[3]周晓华,王毅明,钟金宁.大桥变形监测网基准点稳定性分析方法研究[J].现代测绘,2014,(2):6-8.

[4]黄兵杰,张妍,余咏胜.变形监测网合适参考系的确定与稳定性分析[J].测绘与空间地理信息,2011,34(6):18-21,24.

[5]齐礼帅,许万旸,芦金鑫,等.变形监测网稳定性分析方法存在的问题及探讨[J].北京测绘,2012,(5):30-33.

作者简介：

杨盛波(1987--),男,侗族,广西龙胜人,本科,项目经理,工程师,研究方向：工程测量的生产与技术管理工作。