

文章编号: 0494-0911(2011)05-0026-03

中图分类号: P224

文献标识码: B

水准网定权方法对精度评定的影响

王磊¹, 郭际明¹, 喻永平², 申丽丽¹

(1. 武汉大学 测绘学院, 湖北 武汉 430079; 2. 广州市城市规划勘测设计研究院, 广东 广州 510060)

Effect of Different Weighting Methods on Precision Evaluation in Leveling Network Adjustment

WANG Lei, GUO Jiming, YU Yongping, SHEN Lili

摘要: 在水准网平差过程中, 定权方式有按测站数和按距离两种, 单位权中误差的确定也存在多种方法。讨论不同定权方法和单位权的选择方法, 并通过算例分析定权方式和单位权给水准网平差精度评定带来的影响, 最后给出判定定权方法适用性的标准。

关键词: 水准网平差; 精度评定; 定权方式; 单位权中误差确定

一、前言

水准网平差是测量数据处理的重要内容。近年来, 随着工程测量的发展, 尤其是高难度隧道以及大跨度桥梁等大型精密工程的建设, 精密水准测量已成为保障施工质量的重要手段, 如何获得高精度的平差结果以及合理的水准测量精度成为水准数据处理的关键问题。随着测量技术的发展, 水准测量的精度和可靠性都得到了很大程度的提高, 水准数据处理方法也相应地有所改变。通常情况下是先通过先验的单位权中误差信息定权, 进行平差计算, 然后采用后验的单位权进行精度评定, 其中定权方式又分为按测站数定权和按距离定权。本文详细地讨论了不同定权方式的原理以及对平差结果和精度评定的影响, 最后给出了合理判定定权方式的标准。

二、原理与方法

对于经典水准网平差通常采用间接平差法。间接平差法的数学模型如下^[1]

$$\text{函数模型: } \hat{L} = B\hat{X} + \Delta \quad (1)$$

$$\text{随机模型: } D = \sigma_0^2 Q = \sigma_0^2 P^{-1} \quad (2)$$

$$\text{参数估值: } \hat{x} = (B^T P B)^{-1} B^T P L \quad (3)$$

由式(2)可知, 单位权中误差 σ_0 能够通过影响参数估值的方差来影响精度评定的结果, 而式(3)则反映了权阵 P 的选择直接影响了间接平差的估值。可见, 定权的这两个因素对于间接平差是非常重要的。下面将对定权方式和单位权中误差 σ_0 的

确定方法分别予以讨论。

1. 定权方式

实际的水准测量数据处理过程中, 常见的定权方式有两种: ① 根据测站数定权^[2]; ② 根据线路距离定权^[2-4]。对于采用测站数定权的情况, 如果先验单位权中误差为每站高差中误差, 那么某一测段的权应为该测段包含测站数的倒数。对于采用距离定权的情况, 如果先验单位权中误差为每公里高差中误差, 那么某一测段权应确定为该测段距离的倒数或者测段距离平方的倒数。从理论上讲, 权只是一个表示相对大小量, 同时缩放一个比例因子对结果不会产生影响。而实际计算中, 为了传递先验的精度信息, 往往把先验的精度信息作为比例因子赋给权。

2. 先验单位权中误差的确定

测站数定权和距离定权这两种不同的定权方式, 决定了两种不同的单位权确定方法。对于采用距离定权的情况, 通常选择先验的每千米往返测高差中误差 σ_0 作为单位权中误差, 这个每千米往返测高差中误差可以是水准仪的标称精度。对于采用测站数定权的情况, 再采用每千米往返测高差中误差 σ_0 作为单位权中误差从理论上讲就不严密了。严格意义上讲, 测站数定权方法对应的先验单位权中误差应该是每站高差中误差 σ_0' , 而在数据处理之前, 每站高差中误差无法直接获取。因此, 如果采用按测站数定权方式, 就需要根据仪器的标称精度和测段长度计算得到每站的往返测高差中误差 σ_0' , 计算方法如下:

收稿日期: 2010-06-09

基金项目: 广州市城市规划勘测设计研究院项目资助

作者简介: 王磊(1985—), 男, 安徽阜南人, 硕士生, 主要研究方向为精密工程测量与GPS应用。

根据权的定义^[1]

$$p_i = \sigma_0^2 / \sigma_i^2 \quad (4)$$

假设每个测站的观测中误差与单位权中误差选择方式无关,则有

$$\sigma_i^2 = \sigma_0^2 S_i = \sigma_0^2 N_i \quad (5)$$

式中, σ_0^2 为每千米往返测高差中误差; S_i 为测段距离; σ_i^2 为每站的往返测高差中误差; N_i 为测段包含的测站数。对于整个水准网,可以统计该网所有测段的总线路长度和总测站数,计算一个平均的每站往返测高差中误差 σ_0' 作为先验单位权中误差,计算方法如式(6)所示

$$\sigma_0' = \sigma_0 \sqrt{S_{\text{total}} / N_{\text{total}}} \quad (6)$$

另外,一种确定先验单位权中误差的方法是利用实际测量的数据确定先验的单位权中误差,常见的方法就是选择每千米高差中数偶然中误差 M_Δ 作为单位权中误差,选择 M_Δ 的前提是对于所有的测段都进行了往返观测。由于水准测量规范中对 M_Δ 有明确的限差要求,实际精密水准测量过程中,一般都进行了往返测。每千米高差中数偶然中误差计算公式^[3]为

$$M_\Delta = \pm \sqrt{[\Delta\Delta/R]/(4n)} \quad (7)$$

式中 Δ 为测段往返测高差不符值,单位为 mm; R 为测段长度,单位为 km; n 为测段数。从式(7)可以看出,可以在平差计算之前就把 M_Δ 计算出来,然后作为先验的单位权中误差。显然 M_Δ 是一种距离相关的单位权中误差,如果需要按照测站数定权,则还需要参照式(6)求得每测站高差中数偶然中误差 M_Δ' 。

3. 后验单位权中误差的确定

按照先验单位权中误差进行平差计算,得到估计参数后还要进行精度评定,进行精度评定时,同样面临单位权中误差的确定问题。评定精度时单位权中误差通常有以下几种选择方法:①根据平差计算的改正数,计算得到单位权中误差估值 $\hat{\sigma}_0$;②继续采用先验的单位权中误差 σ_0 ;③采用每千米高差中数偶然中误差 M_Δ 。通常情况下,选择第1种方案,即根据改正数计算得到的单位权中误差估值 $\hat{\sigma}_0$,称为后验单位权中误差, $\hat{\sigma}_0$ 的计算公式^[4]为

$$\hat{\sigma}_0 = \pm \sqrt{\mathbf{V}^T \mathbf{P} \mathbf{V} / (n - t)} \quad (8)$$

式中 n 为总观测数; t 为必要观测数。由于后验单位权中误差是根据先验的单位权中误差算得,所以根据先验单位权平差计算,采用后验单位权评定精度不会产生不兼容问题。但采用式(7)计算单位权中误差估值有一个假设条件,即 $n - t > 0$ 。可如果某一条支水准线路,没有多余观测,那么仍然采用

后验单位权评定精度就没有意义了。这种情况下只能采用先验的单位权中误差 σ_0 评定精度,而采用每公里高差中数偶然中误差 M_Δ 评定精度事实上也是一种直接用先验单位权评定精度的方法,只是这种方法能够比较客观地反映观测的实际精度。

4. 定权方式的评价

先验单位权中误差的确定会影响到单位权中误差的估值,而先验单位权中误差往往又是一个经验的数值。权比确定是否合理,通常是在平差后做一次统计假设检验来确认的,如果定权合理,后验中误差应该和先验中误差一致^[5]。令原假设 H_0 : $\sigma_0^2 = \hat{\sigma}_0^2$,备择假设 H_1 : $\sigma_0^2 \neq \hat{\sigma}_0^2$ 构造假设检验量

$$\chi^2(r) = \frac{r \hat{\sigma}_0^2}{\sigma_0^2} \quad (9)$$

它是自由度为 r 的 χ^2 变量,选取显著性水平 α 进行双尾检验,将求得的 χ^2 与查表值进行比较,若检验量 χ^2 满足^[6]

$$\chi_{1-\frac{\alpha}{2}}^2 \leq \chi^2 \leq \chi_{\frac{\alpha}{2}}^2 \quad (10)$$

则原假设被拒绝,故应该考虑重新确定先验单位权中误差和定权方式。

三、算例与分析

笔者使用武汉大学测绘学院开发的精密水准网平差软件 CosaLevel 对同一水准网采用不同定权方法进行平差计算,并评定精度,用来讨论水准定权方式对水准平差精度的影响。算例水准网中共包含 10 个水准点,11 个测段,各测段都进行了往返测。水准线路构成两个环。通过计算得到本水准网的每千米高差中数偶然中误差 $M_\Delta = \pm 0.85$ mm,平均每测站线路长度为 37.77 m,对往返测观测值作合并处理后,自由度为 2,查表得接受原假设的条件为 $0.051 < \chi^2 < 7.738$ 。

为了探讨单位权中误差选择以及定权方式对精度评定的影响,本文分别利用测站数定权、距离倒数定权、距离倒数平方定权 3 种定权方式,设计了不同的定权方案进行计算,方案如下:

1) 方案 1: 先验单位权中误差为 ± 1 mm,并且采用先验单位权中误差评定精度。

2) 方案 2: 先验单位权中误差为 ± 1 mm,采用后验单位权中误差评定精度。

3) 方案 3: 先验单位权中误差为 ± 5 mm,并且采用先验单位权中误差评定精度。

4) 方案 4: 先验单位权中误差为 ± 5 mm,采用

后验单位权中误差评定精度。

5) 方案5: 先验单位权中误差 $M_{\Delta} (\pm 0.85 \text{ mm})$, 并且采用先验单位权中误差评定精度。

对于测站数定权的情况(如图1(a)所示), 首先按照式(6)计算先验单位权 1 mm、5 mm、0.85 mm

对应的每站先验单位权中误差, 分别为 $\pm 0.19 \text{ mm}$ 、 $\pm 0.47 \text{ mm}$ 和 $\pm 0.16 \text{ mm}$, 再将计算后的单位权中误差作为先验单位权中误差进行平差计算。得到的未知点的高程及其精度如图1所示。

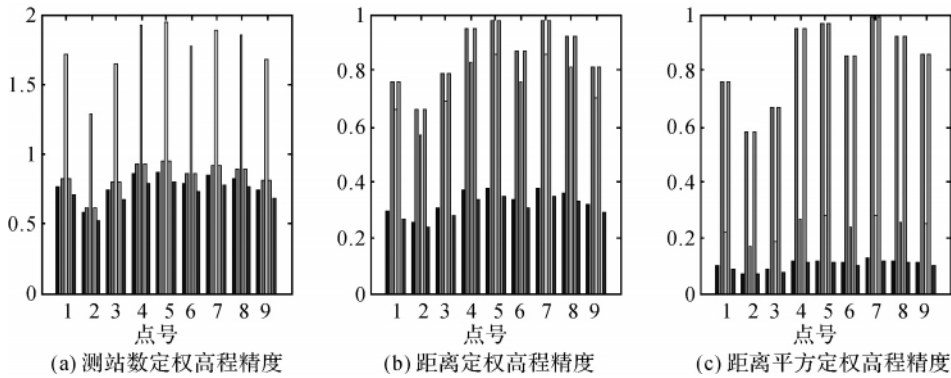


图1 采用3种定权方法平差得到的点位精度(单位: mm)

图1展示了对试验数据采用5种方案计算的结果, 通过分析以上计算数据, 可以得到以下结论:

1) 采用后验单位权中误差评定精度时, 先验的单位权中误差不会对高程精度评定结果造成影响。但是, 如果直接采用先验单位权中误差评定精度, 精度评定结果将取决于先验单位权中误差的选取。采用不同的先验单位权评定的精度之间存在近似的比例关系, 即各高程点评定的精度会随着先验单位权中误差的不同被近似等比例的缩放。

2) 评定精度时采用先验单位权中误差或者后验单位权中误差只会对精度评定结果产生影响, 选择不同大小的单位权中误差也只能对精度评定结果造成影响, 不能影响平差结果和残差分布。

3) 定权方式是精度评定的关键因素, 它对精度评定和平差结果都会造成影响, 尽管先验单位权中误差相同, 采用不同的定权方式评定的精度不同,

而且平差结果也会存在一定的差异。通过进一步的模拟分析可知, 如果各测站的长度比较均匀, 采用测站数平差与采用距离平差的结果趋于一致, 如果各测站长度各异, 采用测站数定权得到的平差结果及精度与距离定权的平差结果相差较大。

表1为各方案 χ^2 检验量表, 表中加下划线的数据表示检验量被拒绝。从表1中很容易看出通过 χ^2 检验的方法并不唯一, 事实上对于单位权中误差的一致性检验只是一个显著性检验, 虽然只限制了“弃真”错误发生的水平, 但并没有限制“纳伪”错误发生的水平。因此一致性检验只能拒绝概率上讲不正确的定权方法, 并不能唯一的确定合理的定权方法, 事实上合理的定权方法也不唯一, 但是被 χ^2 检验拒绝的定权方法一般认为是不可取的。

表1 各方案 χ^2 检验量表

定权方法	方案1	方案2	方案3	方案4	方案5
采用测站数定权法	15.378 2	15.378 2	3.065 5	3.065 5	18.191 1
采用距离定权法	<u>84.930 8</u>	<u>84.930 8</u>	16.989 8	16.989 8	<u>100.631 8</u>
采用距离平方定权法	<u>790.717 2</u>	<u>790.717 2</u>	<u>158.159 9</u>	<u>158.159 9</u>	<u>936.244 7</u>

四、结束语

从上面的成果中可以看出, 不同的定权方法获得的高程精度差异很大, 这并不意味着通过定权的方式可以提高测量精度。测量数据处理过程中的

精度评定追求的是客观、合理, 而不是盲目地追求高精度。合理的精度评定结果可以客观地反映测量的质量, 如果采用合理的定权方式, 得到的先验单位权中误差和后验单位权中误差应该具有一致 (下转第88页)

式,如图4所示。通过程序计算得该处煤层倾向280.4°,倾角16.25°,而与平面等高线图纸测量结果较为接近,充分证明了该程序的可用性。

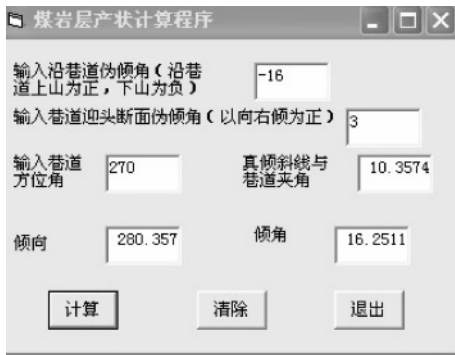


图4 计算煤岩层产状结果

四、结论

通过以上论述,得出以下结论:

1) 运用煤矿井下沿巷道方向与巷道迎头断面煤岩层两组视倾角,通过联立方程计算,得出真倾

角及巷道与真倾斜线的夹角。

2) 利用已求得的真倾角及巷道与真倾斜线夹角,通过向量加减关系,分情况讨论,得出煤岩层真倾向。

3) 利用上述求得的煤岩层产状,通过 Visual Basic 语言,编程实现了通过视倾角计算真倾角的自动程序。

4) 通过 Visual Basic 程序计算煤岩层产状,再通过图纸测量与现场测量比较,充分证明了所编程序的准确性。

参考文献:

- [1] 柴登榜. 矿井地质工作手册[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1986.
- [2] 魏可忠. 矿井地质[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1988.
- [3] 王新宇, 管京强. 公式计算法测定煤岩层产状要素的研究及应用[J]. 煤矿开采, 2008(4): 20-21.
- [4] 李长河. 井下测量煤岩层产状的新方法[J]. 中州煤炭, 1991(6): 37-38.

(上接第28页)

性。可能有多种定权方法都能通过 χ^2 检验,还需要进一步的结合实际情况选择合适的定权方法。而 χ^2 检验不通过的定权方法一般不宜采用。一般来说,评定精度应采用后验单位权中误差;若水准网中没有多余观测,评定精度只能使用先验单位权中误差;如果没有多余观测,但各测段都进行了往返观测,建议采用每千米高差中数偶然中误差 M_{Δ} 作为先验单位权中误差来评定精度,因为 M_{Δ} 在一定程度上反映了观测实际情况。

参考文献:

- [1] 武汉大学测绘学院测量平差学科组. 误差理论与测量

平差基础[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2003: 102-125.

- [2] 陈健. 水准网平差中权的设定问题[J]. 武汉测绘学院学报, 1980(2): 12-24.
- [3] 薄志鹏. 一等水准测量的实有精度和权的确定[J]. 武汉测绘学院学报, 1983(2): 1-15.
- [4] 梁振英. 关于水准网平差中权的估算问题探讨[J]. 测绘学报, 1983, 12(1): 56-66.
- [5] 孔祥元, 郭际明, 刘宗泉. 大地测量学基础[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2006: 227.
- [6] 王新洲, 陶本藻, 邱卫宁, 等. 高等测量平差[M]. 北京: 测绘出版社, 2006: 18-20.

(上接第82页)

取还需要进一步研究和改进,结合三维和时态GIS进行深入开发,以便更加精确地模拟扩散过程和危害程度,提供更加可靠的决策信息服务。

参考文献:

- [1] 张媛媛. 基于 WebGIS 的突发事故大气污染模拟的研究实现[D]. 杭州: 浙江大学, 2006.
- [2] 毕天平, 金成洙, 钟圣俊, 等. 基于 GIS 的环境污染扩散模型[J]. 东北大学学报: 自然科学版, 2008, 29(2): 273-276.
- [3] 饶国宁, 陈网桦, 胡毅亭, 等. 液氨泄漏事故危险性的

定量分析研究[J]. 安全与环境学报, 2004, 4(B06): 165-167.

- [4] 刘绮, 潘伟斌. 环境质量评价[M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2008: 136-140.
- [5] 中华人民共和国环境保护部. HJ 2.2—2008 环境影响评价技术导则 大气环境[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2009.
- [6] 朱经纬, 蒙培生, 王乘. 一种改进的 MC 算法[J]. 中国图象图形学报, 2008, 13(7): 1359-1365.
- [7] 刘睿, 周晓光. 一种基于动态基态方法的时空数据模型扩展[J]. 测绘通报, 2008(6): 50-53.
- [8] 方克美, 杨大明, 常俊. 急性中毒治疗学[M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 2002: 107.