

拟合水准测量条件平差在南大梁高速公路 渠江大桥施工中的应用

董明干

(四川公路桥梁建设集团有限公司, 四川 成都 610041)

摘要: 以四川南大梁(南充—大竹—梁平)高速公路渠江大桥为例,介绍了拟合水准路线条件平差的计算方法,求出了观测值及其函数的最或是值,同时评定了测量结果的精度。结果表明,拟合水准测量条件平差能消除各观测值之间的矛盾,合理分配误差,与近视平差相比其误差不存在累积性,满足规范要求。

关键词: 桥梁;拟合水准测量;条件平差

中图分类号: U446.2

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2018)01-0149-02

严密平差最常用的计算方法有条件平差和间接平差,条件平差根据条件方程式按最小二乘原理求观测值的最或是值,间接平差根据观测值与未知量的函数关系列出误差方程式后按最小二乘原理求未知量的最或是值。这两种方法在方程形式与计算上虽然不同,但计算结果一致。从手工计算工作量来说,首选条件平差;从编程用计算机计算方面讲,两种方法都实用。公路工程施工测量规范要求四等及以上水准路线加密复测均应采用严密平差计算。该文以南大梁(南充—大竹—梁平)高速公路渠江大桥为例,介绍拟合水准路线条件平差的计算方法。

1 渠江大桥加密水准复测概况

南大梁高速公路地处四川盆地东部丘陵地区,主线 K97+711.25 附近跨越渠江。渠江大桥主桥采用(80+140+80) m 连续刚构,小里程引桥部分采用 4~25 m 简支 T 梁,大里程引桥部分采用 20~40 m 简支 T 梁。主桥跨度大,现场施工环境也很差,为免于施工测量事故,高程采用条件平差测量。如图 1 所示,在桥的起点布设 BM92 原始水准点;小里程引桥终点布设 BM92-1 水准点,路线长度 150 m;大里程引桥起点布设 BM92-2 水准点,路线长度 300 m;大里程引桥中间布设 BM92-3 水准点,路线长度 400 m;桥的终点布设 BM93 原始水准点,

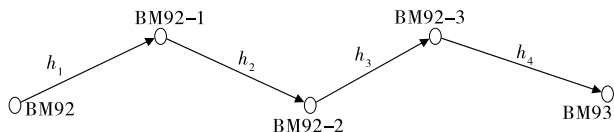


图 1 水准点平面布置

路线长度 450 m。已知高程、高差及路线长度观测值见表 1。

表 1 已知高程、高差及路线长度观测值

点号	高程/m	观测高差/m	观测路线长度/m
BM92	382.466	—	—
BM92-1	待定	$h_1 = -1.174\ 5$	150
BM92-2	待定	$h_2 = -2.711\ 5$	300
BM92-3	待定	$h_3 = 3.176\ 0$	400
BM93	388.863	$h_4 = 7.102\ 0$	450

2 拟合水准测量条件平差计算

2.1 计算步骤

拟合水准测量条件平差的计算步骤:1) 根据平差的具体问题确定条件方程个数,列出条件方程式,条件方程的个数等于多余观测数 r 。2) 根据条件方程式的系数、闭合差及观测值的权(或协因数阵)组成法方程,法方程的个数等于多余观测数 r 。3) 解算法方程,求联系数 k 值。4) 将 k 代入改正数方程求改正数 v ,并计算平差值 $H_i = h_i + v_i$ 。5) 用平差值检核平差计算结果的正确性。6) 计算精度评定值,并与规范规定值相比较,如不符合规范要求,则重新复测。

2.2 条件平差的计算

进行条件平差,首先要确定条件方程个数,本例条件方程个数与多余观测数相同。确定条件方程个数的方法如下:拟合水准点高差观测总数用 n 表

示, 附合水准点待定点个数用 p 表示, 附合水准点多余观测数用 r 表示, 条件方程个数 $r = n - p = 4 - 3 = 1$ 。

平差条件方程为:

$$h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_{\text{BM92}} - h_{\text{BM93}} = 0 \quad (1)$$

将 $H_i = h_i + v_i$ 代入式(1), 得:

$$v_1 + v_2 + v_3 + v_4 - 5 = 0$$

用矩阵表示为:

$$(1 \quad 1 \quad 1 \quad 1) \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ v_4 \end{bmatrix} - 5 = 0$$

令 1 km 观测高差的权为单位权, 即 $p_i = 1/s_i$, 得 $p_1 = 1/0.15 = 6.7$, $p_2 = 1/0.3 = 3.3$, $p_3 = 1/0.4 = 2.5$, $p_4 = 1/0.45 = 2.2$ 。

条件方程系数矩阵为:

$$A = [1 \quad 1 \quad 1 \quad 1]$$

观测值权倒数系数矩阵为:

$$P^{-1} = \begin{bmatrix} 0.15 & & & \\ & 0.3 & & \\ & & 0.4 & \\ & & & 0.45 \end{bmatrix}$$

条件方程系数转置矩阵为:

$$A^T = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

法方程系数为:

$$[1 \quad 1 \quad 1 \quad 1] \times \begin{bmatrix} 0.15 & & & \\ & 0.3 & & \\ & & 0.4 & \\ & & & 0.45 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} = 1.3$$

由此得法方程为:

$$Nk_a + W = 0, 1.3k_a - 5 = 0, k_a = 3.846 \text{ 2}$$

根据式(2)求得改正数 v_1, v_2, v_3, v_4 。

$$v_i = \frac{1}{p_i} (a_i k_a + b_i k_b + \cdots + r_i k_r) \quad (2)$$

$$v_1 = \frac{1}{p_1} a_1 k_a = 0.15 \times 1 \times 3.846 \text{ 2} = 0.576 \text{ 9 mm}$$

$$v_2 = \frac{1}{p_2} a_2 k_a = 0.3 \times 1 \times 3.846 \text{ 2} = 1.153 \text{ 9 mm}$$

$$v_3 = \frac{1}{p_3} a_3 k_a = 0.4 \times 1 \times 3.846 \text{ 2} = 1.538 \text{ 5 mm}$$

$$v_4 = \frac{1}{p_4} a_4 k_a = 0.45 \times 1 \times 3.846 \text{ 2} = 1.730 \text{ 8 mm}$$

式中: a_i 为系数, 其值均为 1。

由此得高差的平差值为:

$$H_1 = h_1 + v_1 = -1.174 \text{ 5} + 0.000 \text{ 576 9} = -1.173 \text{ 9 m}$$

$$H_2 = h_2 + v_2 = -2.711 \text{ 5} + 0.001 \text{ 153 9} = -2.710 \text{ 3 m}$$

$$H_3 = h_3 + v_3 = 3.176 \text{ 0} + 0.001 \text{ 538 5} = 3.177 \text{ 5 m}$$

$$H_4 = h_4 + v_4 = 7.102 + 0.001 \text{ 730 8} = 7.103 \text{ 7 m}$$

将平差值代入式(1)进行校核, 得 $-1.173 \text{ 9} - 2.710 \text{ 3} + 3.177 \text{ 5} + 7.103 \text{ 7} + 382.466 - 388.863 = 0$ 。各高差的平差值满足水准路线高差间的几何条件(高差闭合差为零), 计算无误。同理, 计算得 BM92-1、BM92-2、BM92-3 的平差高程分别为:

$$h_{\text{BM92-1}} = h_{\text{BM92}} + H_1 = 382.466 - 1.173 \text{ 9} = 381.292 \text{ 1 m}$$

$$h_{\text{BM92-2}} = h_{\text{BM92}} + H_1 + H_2 = 382.466 - 1.173 \text{ 9} - 2.710 \text{ 3} = 378.581 \text{ 8 m}$$

$$h_{\text{BM92-3}} = h_{\text{BM92}} + H_1 + H_2 + H_3 = 382.466 - 1.173 \text{ 9} - 2.710 \text{ 3} + 3.177 \text{ 5} = 381.760 \text{ 3 m}$$

2.3 附合水准测量精度评定

2.3.1 高差中误差

单位权中误差为:

$$[pvv] = \frac{20}{3} \times 0.576 \text{ 9}^2 + \frac{10}{3} \times 1.153 \text{ 9}^2 + \frac{5}{2} \times 1.538 \text{ 5}^2 + \frac{20}{9} \times 1.730 \text{ 8}^2 = 19.231 \text{ 6}$$

中误差为:

$$m_0 = \pm \sqrt{\frac{[pvv]}{[n-p]}} = \pm 4.385 \text{ 4 mm}$$

式中: p 为单位权; v 为点位高程差; n 为改正数的个数。

即 1 km 水准路线高差中误差为 $\pm 4.358 \text{ 4 mm}$, 小于规范值 $\pm 5 \text{ mm}$, 满足要求。

2.3.2 最弱点中误差

最弱点 BM92-2 的高程平差值函数为:

(下转第 155 页)

深而逐渐减小。

(3) 随锈蚀率的增大,梁内箍筋和加固箍筋参与抗剪和屈服的时间提前。加固梁的梁内箍筋应变发展速度均小于对比梁。

(4) U 形箍筋的套箍效应可有效限制梁斜裂缝的发展和延伸,提高梁的最大挠度,优化梁的刚度和延性。

该文仅对 2 个 $\phi 8 @ 100$ U 形箍筋的加固效果进行研究,对 U 形箍筋加固的施工工艺、数量、位置变化等相关参数仍有待进一步研究。

参考文献:

- [1] GB 50367—2006,混凝土结构加固设计规范[S].
- [2] 徐福泉,赵基达,李东彬.既有建筑结构加固改造设计与施工技术指南[M].北京:中国物资出版社,2013.
- [3] 卜良桃,曾坚,李为.碳纤维水泥砂浆钢筋网加固 RC 梁

抗剪试验研究[J].湖南大学学报:自然科学版,2012,39(2).

- [4] 孙延华,陈秋冬,熊光晶.钢筋钢丝网砂浆加固 RC 梁的抗剪试验[J].建筑材料学报,2015,18(5).
- [5] 荀勇,尹红宇,肖保辉.织物增强混凝土加固 RC 梁的斜截面抗剪承载力试验研究[J].土木工程学报,2012,45(5).
- [6] 林于东,宗周红,陈宏磊.粘钢加固混凝土梁受剪性能试验研究[J].建筑结构学报,2011,32(8).
- [7] 彭小丽.CFRP 加固火灾后钢筋混凝土梁抗剪性能的试验研究[D].泉州:华侨大学,2013.
- [8] 朱建科.基于锈蚀特征的纤维布加固钢筋混凝土梁抗剪承载力分析[D].杭州:浙江大学,2013.
- [9] 张兴才,李洪明,叶方洁,等.箍筋锈蚀 RC 梁抗剪加固性能试验研究[J].低温建筑技术,2014(9).

收稿日期:2017-04-06

(上接第 150 页)

$$h_{BM92-2} = h_{BM92} + h_1 + h_2$$

权系数矩阵和转置矩阵分别为:

$$f_2 = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, f_2^T = [1 \quad 1 \quad 0 \quad 0]$$

转换系数方程式为:

$$Nq_a + AP^{-1}f_2 = 0$$

$$AP^{-1}f_2 = [1 \quad 1 \quad 1 \quad 1] \times$$

$$\begin{bmatrix} 0.15 & & & \\ & 0.3 & & \\ & & 0.4 & \\ & & & 0.45 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = 0.45$$

$$1.3 \times q_a + 0.45 = 0, q_a = -0.346 \text{ 2}$$

$$f_2^T P^{-1} f_2 = [1 \quad 1 \quad 0 \quad 0] \times$$

$$\begin{bmatrix} 0.15 & & & \\ & 0.3 & & \\ & & 0.4 & \\ & & & 0.45 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = 0.45$$

$$f_2^T P^{-1} A^T = [1 \quad 1 \quad 0 \quad 0] \times$$

$$\begin{bmatrix} 0.15 & & & \\ & 0.3 & & \\ & & 0.4 & \\ & & & 0.45 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} = 0.45$$

平差值权倒数为:

$$\frac{1}{P_2} = f_2^T P^{-1} f_2 - f_2^T P^{-1} A^T q_a = 0.45 +$$

$$0.45 \times (-0.346 \text{ 2}) = 0.294 \text{ 2}$$

平差值中误差为:

$$m_{BM92-2} = m_0 \sqrt{\frac{1}{P_2}} = \pm 4.385 \text{ 4} \times 0.542 \text{ 4} = \pm 2.378 \text{ 6 mm}$$

最弱点中误差为 $\pm 2.378 \text{ 6 mm}$, 小于规范值 $\pm 10 \text{ mm}$, 满足要求。

3 结语

渠江大桥施工中采用水准测量严密平差,将主桥边跨合龙高差控制在 6 mm、主桥中跨合龙高差控制在 8 mm,测量精度符合规范要求值 $\pm 10 \text{ mm}$ 。与近视平差计算相比,水准测量严密平差的计算速度在很大程度上依赖高等数学的熟练程度,其计算精度更合理,且不存在任何累积误差。缺点在于软件计算速度虽然快,但导出的成果一目了然,且手工计算过于烦琐,在以后测量平差中有待提高,尽量做到步骤化、公式化、表格化、计算简单明了。

参考文献:

- [1] JTG C10—2007,公路勘测规范[S].
- [2] JTG/T C10—2007,公路勘测细则[S].

收稿日期:2017-04-09