

差分三角高程测量在水利工程勘测中的应用

孙 炜¹, 王志雄², 张俊华¹

(1. 湖北省水利水电勘测设计院, 湖北 武汉 430064;

2. 湖北三峡职业技术学院, 湖北 宜昌 443000)



摘 要: 针对水利水电测量中需要采集大量的地面数据特征点, 提出了用差分电磁波测距三角高程测量作业模式, 并进行了精度分析, 试验表明, 该方法可大大提高数据采集的测量精度和工作效率。

关键词: 差分方法; 电磁波测距; 三角高程

中图分类号: P216

文献标志码: B

文章编号: 1672-4623 (2010) 04-0146-03

Application of Differential Triangulated Height Surveying to Survey of Water Resources & Water Power Engineering

SUN Wei¹, WANG Zhixiong², ZHANG Junhua¹

(1. Hubei Institute of Survey & Design for Water Resources & Water Power Engineering, Wuhan 430064, China;

2. Hubei Three Gorges Polytechnic, Yi chang 443000, China)

Abstract: Many terrain points need to be collected in the water resources & water power engineering. The method of differential triangulated height surveying for EDM and Precision Analysis was discussed to improve the work efficiency and the survey accuracy.

Key words: Differential Method; EDM; triangulated height surveying

差分方法作为一种数学方法目前在各工程领域得到了广泛的应用, 并为各行业带来了明显的经济效益和社会效益。在测量领域, 差分方法作为一种重要的方法也得到了人们的普遍关注, 如 GPS 差分测量等。在现阶段水利勘测中, 一般是在已完成控制测量的前提下, 采用 GPS-RTK 测量和全站仪全要素法采集碎部点信息以满足勘测设计的需要, 但这种方法与作业模式因受地形、地物和工期的限制存在着劳动强度大、工作效率低的缺点, 如何快速地高精度采集地面信息是目前测绘技术人员普遍关心的问题之一。

本文结合洪湖分蓄洪区东分块工程的勘测, 就差分方法的原理、方法以及评定测量成果的质量进行探讨。

1 差分原理与方法

差分方法主要分为平面差分法和高程差分法两种。在预先划定的测段内, 采用全站仪极坐标法在任意设站测量时均可获得地形碎部点的三维坐标 (X, Y, H) , 根据测量坐标我们可得同一测站内相邻碎部点坐标的相对增量, 即:

$$\Delta X = X_{i+1} - X_i \quad (1)$$

$$\Delta Y = Y_{i+1} - Y_i \quad (2)$$

$$\Delta H = H_{i+1} - H_i \quad (3)$$

式中, (X_i, Y_i, H_i) 为任意设站时碎部点的测量坐标。

对已划定的公用点进行控制测量联测, 并组成连通图形, 然后根据已完成的控制点成果进行平差计算以获得碎部点真实的三维坐标。

当采用全站仪测量时, 高差差分法在基于三角测量传递高程的基础上, 采取差分技术使测量误差可大大削弱或消除, 从而达到提高高程测量精度的目的。在横断面测量或碎部测量中, 通常在已知点 I 上设站, 后视控制点 P 定向, 然后依次各碎部点 K 的位置 (如图 1 所示)。

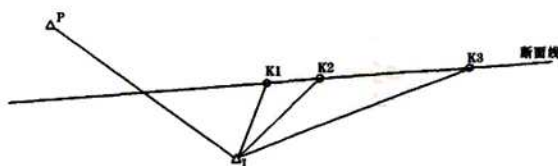


图 1 碎部测量

由三角高程测量公式得 P 点和 K 点的高程为:

$$H_p = H_i + s_p \cdot \sin \alpha_p + l_i - V_p + \left(\frac{1-k}{2R} \right) s_p^2 \cos^2 \alpha_p \quad (4)$$

$$H_k = H_k + s_k \cdot \sin \alpha_k + l_i - V_k + \left(\frac{1-k}{2R} \right) s_k^2 \cos^2 \alpha_k \quad (5)$$

式中, H_i 为测站高程; H_p 、 H_k 分别为已知点 P 和未知点 K 的高程; l_i 、 V_p 、 V_k 分别为仪器高和觇标高; s_p 、 s_k 分别为测站 I 至 P 点和 K 点的斜距; α_p 、 α_k 分别为测站 I 至 P 点和 K 点的垂直角; k 为大气垂直折光系数; R 为地球曲率半径。

由式 (4) 和式 (5) 可知: 高程测量的精度主要受全站仪测角误差、测距误差、仪器高和觇标高的量测误差及球气差的影响。

将式 (4) 和式 (5) 求差得分:

$$H_p - H_k = s_p \sin \alpha_p - s_k \sin \alpha_k + V_p - V_k + \left(\frac{1-k}{2R} \right) (s_p^2 \cos^2 \alpha_p - s_k^2 \cos^2 \alpha_k) \quad (6)$$

则未知点 K 的高程为:

$$H_k = H_p - (s_p \sin \alpha_p - s_k \sin \alpha_k) - V_p + V_k - \left(\frac{1-k}{2R} \right) (s_p^2 \cos^2 \alpha_p - s_k^2 \cos^2 \alpha_k) \quad (7)$$

显然, 测点 K 的高程仅与后视点 P 的高程、设站点至 P 点或 K 点观测量有关, 而与设站点 I 的高程、仪器高无关。

对于碎部点 K_i 序列, 相邻点 K_i 与 K_{i+1} 之间的高差可由式 (7) 得:

$$\Delta H_{i+1,i} = s_{i+1} \sin \alpha_{i+1} - s_i \sin \alpha_i + V_{i+1} - V_i + \left(\frac{1-k}{2R} \right) (s_{i+1}^2 \cos^2 \alpha_{i+1} - s_i^2 \cos^2 \alpha_i) \quad (8)$$

2 精度分析

对式 (8) 进行全微分, 并顾及 $D_i = s_i \cos \alpha_i$, $D_{i+1} = s_{i+1} \cos \alpha_{i+1}$, 则得:

$$d_{\Delta H_{i+1,i}} = ds_{i+1} \sin \alpha_{i+1} - ds_i \sin \alpha_i + dV_{i+1} - dV_i + \frac{D_{i+1}}{\rho} d\alpha_{i+1} - \frac{D_i}{\rho} d\alpha_i + \frac{D_{i+1}^2 - D_i^2}{2R} dk \quad (9)$$

运用误差传播定律, 考虑到观测量之间相互独立, 则可近似认为 $m_{s_i}^2 = m_{s_{i+1}}^2 = m_s^2$; 并顾及 $m_{\alpha_i}^2 = m_{\alpha_{i+1}}^2 = m_{\alpha}^2$, $m_{V_i}^2 = m_{V_{i+1}}^2 = m_V^2$, 由上式可得:

$$m_{\Delta H_{i+1,i}}^2 = (\sin^2 \alpha_{i+1} + \sin^2 \alpha_i) m_s^2 + (D_{i+1}^2 + D_i^2) \frac{m_{\alpha}^2}{\rho^2} + 2m_V^2 + \left(\frac{D_{i+1}^2 - D_i^2}{2R} \right)^2 m_k^2 \quad (10)$$

式中, $m_{\Delta H}$ 为中点单视法三角高差的中误差; m_s 为测边中误差; m_{α} 为垂直角观测中误差; m_k 为大气折光系数测定中误差; m_V 为觇标高量取中误差; α 为垂直角的观测值; D 为水平距离, $D = s \cdot \cos \alpha$; R 为测区地球平均曲率半径, 取 6 371 000 m; ρ 取 206 265''。

式 (9) 中, 高差中误差主要由全站仪的测距精度和测角精度和觇标高量取误差三部分组成, 而不同的测量仪器, 其测角和测边的精度并不完全一样, 设 $m_s = 2 \text{ mm}$, $m_{\alpha} = 0.12$, $m_V = 5 \text{ mm}$ 和 $m_k = \pm 5''$, 取不同的组合和 s 组合计算 $m_{\Delta H}$ (见表 1)。

表 1 不同边长与垂直角的高差中误差/mm

S_{i+1}/m	S_i/m	$\alpha_{i+1}=25^\circ$ $\alpha=25^\circ$	$\alpha_{i+1}=25^\circ$ $\alpha=20^\circ$	α_{i+1}/m $\alpha=15^\circ$	$\alpha_{i+1}=25^\circ$ $\alpha=10^\circ$	$\alpha_{i+1}=25^\circ$ $\alpha=5^\circ$	$\alpha_{i+1}=25^\circ$ $\alpha=0^\circ$	$15\sqrt{(S_{i+1}+S_i)}$ /mm
400	400	13.09	13.25	13.38	13.48	13.54	13.56	13.42
	300	11.74	12.23	12.28	12.33	12.35	12.36	12.55
	200	10.69	11.14	11.14	11.14	11.13	11.13	11.62
	100	10.02	10.45	10.40	10.37	10.35	10.34	10.61
	50	9.84	10.27	10.21	10.17	10.14	10.13	10.06
300	300	10.19	10.75	10.81	10.86	10.89	10.90	11.62
	200	8.93	9.47	9.47	9.46	9.46	9.46	10.61
	100	8.10	8.63	8.57	8.53	8.50	8.49	9.49
	50	7.88	8.40	8.33	8.28	8.25	8.24	8.87
	200	7.45	8.09	8.09	8.08	8.08	8.08	9.49
200	100	6.41	7.07	7.00	6.95	6.92	6.9	8.22
	50	6.13	6.79	6.70	6.64	6.60	6.58	7.50
	100	5.16	5.95	5.87	5.81	5.77	5.76	6.71
100	50	4.79	5.61	5.51	5.43	5.38	5.36	5.81

通过对表 1 的分析, 可知: 在水利工程测量中, 由于两碎部点之间的距离一般控制在一定的范围内, 并

且测量时间较短, 因此可近似地认为两相邻点之间的观测量具有一定的相关性, 故大气折光的影响较小, 此

时相邻测点之间的高差主要受测距与测角精度的影响,与设站点的高程、仪器高无关。

从衡量三角高程测量精度的指标--每千米高差中误差来考虑,两碎部点的斜距 s 控制在 400 m 范围内,且相邻点的距离较差值不大于 300 m,取每千米高差中误差的 2 倍作为极限误差,在此范围内可满足五等水准测量的要求。

在获取相邻点之间的高差后,每隔一段长度时将测点联测到路线控制点上,形成附和水准路线进行平差计算,从而获得各测点的高程并评定测量精度。

3 工程实例

洪湖分蓄洪区东分块工程位于洪湖分蓄洪区东部,由腰口隔堤、洪湖监利长江干堤、东荆河堤及主隔堤一起形成封闭圈,分蓄 50 亿 m^3 超额长江洪水。根据洪湖分蓄洪区东分块工程可行性研究设计工作需要,对洪湖分蓄洪区东分块工程东荆河右堤及其穿堤建筑物等进行 1:2 000 地形图和纵横断面测量。

在 42.9 km 东荆河右堤堤线上,根据实地地形,划分为 27 个测段,每个测段均自由设站并联测到公用点。下面以碎部点的高程测量为例,阐述差分方法在高程测量中的应用。

根据差分方法的原理在已划定的 27 个测段中,按照上节的有关技术要求,采用全站仪共采集了 5 600 个地形特征点,对于每个测段间的公用点,采用了四等水准测量的方法进行联测并组成结点网形。全线共采用 8 个四等水准点(点名分别为 G1908, G1909, G1912, G1914, G1919, G1924, G1925, HJL2)作为起算点进行平差计算,每千米高差中数单位全中误差为 ± 9.09 mm,满足碎部点高程测量的要求,测量成果都可达到五等水准测量精度的要求。水准网平差后,各水准点间组成 27 条附和水准路线,闭合差结果如表 2 所示,所有附和路线闭合差均满足规范要求。

4 结 语

通过差分方法在洪湖分蓄洪区东分块工程测量中的应用,可得出以下结论:

1) 差分测量方法的作业模式与传统的作业模式显著不同,无需在完成控制测量以后进行碎部测量,可大大提高作业效率,减轻劳动强度;

表 2 差分测段高程路线闭合差统计

序号	起点	终点	闭合差/ mm	距离/km	允许闭合 差/mm
1	G1925	HJL2	-12	6.5299	± 76.7
2	G1912	HJL2	-12.7	3.522	± 56.3
3	G1909	G1924	-54.6	18.5245	± 129.1
4	G1908	G1924	-34.6	27.1165	± 156.2
5	G1914	G1924	-53.4	17.6645	± 126.1
6	HJL2	G1924	-21.7	10.0635	± 95.2
7	G1912	G1924	-34.4	6.5815	± 77.0
8	G1924	G1925	31	3.5599	± 56.6
9	G1909	G1919	-34.6	4.501	± 63.6
10	G1908	G1919	-14.6	13.093	± 108.6
11	G1914	G1919	-33.4	3.641	± 57.2
12	HJL2	G1919	-1.7	4.04	± 60.3
13	G1912	G1919	-14.4	7.522	± 82.3
14	G1924	G1919	20	14.0635	± 112.5
15	G1925	G1914	32.1	14.4099	± 113.9
16	HJL2	G1914	31.7	7.641	± 82.9
17	G1912	G1914	19	11.123	± 100.1
18	G1908	G1909	20	8.632	± 88.1
19	G1914	G1909	1.2	0.9	± 28.5
20	HJL2	G1909	32.9	8.501	± 87.5
21	G1912	G1909	20.2	11.983	± 103.8
22	G1914	G1908	17.9	9.523	± 92.6
23	G1925	G1908	50	23.3329	± 144.9
24	G1914	G1908	-18.8	9.492	± 92.4
25	HJL2	G1908	12.9	17.093	± 124.0
26	G1912	G1908	0.2	20.575	± 136.1
27	G1925	HJL2	-12	6.5299	± 76.7

2) 对差分测段所组成的网形进行控制点联测并重新平差计算,可显著提高地面碎部点高程的精度;

3) 差分方法可在很大程度上消除或削弱原始观测数据之间系统误差,能有助于测量数据的分析、检验,有效地保证了测量成果的质量。

参考文献

- [1] 杨国清.控制测量学[M].郑州:黄河水利出版社,2005
- [2] 王守彬,郑家庆.全站仪任意设站法实现路线横断面测量自动化[J].工程勘察,1996(06):42-45
- [3] 刘志德,章书寿,郑汉球,等.EDM三角高程测量[M].北京:测绘出版社,1996
- [4] SL197-97.水利水电工程测量规范[S].

第一作者简介: 孙炜,高级工程师,主要从事水利水电工程测量。