

控制测量计算手册

冶金工业部成都勘察公司修订

(修订本)

冶金工业出版社

控制测量计算手册

(修 订 本)

冶金工业部成都勘察公司

冶金工业出版社

内 容 提 要

本手册是1972年冶金工业出版社出版的《控制测量计算手册》的修订本。

内容包括三、四等三角和三、四等水准测量以下的平面和高程控制的各种计算方法。这次修订增加了用“北极星高度和方位角”表计算方位角、光速测距计算、精度估算、图上概算、三组平差、编制误差方程式图、条件平差和间接平差的比较、用“固定系数表”作典型图形平差、线形锁直接求边、用数表矩阵计算交会点、等级水准的正常高改正等内容和七十多个实例。内容叙述上是在简要理论推导之后，以实例说明计算步骤。

本手册可供冶金、地质、铁道、城建等广大工程测量人员使用，也可供大专院校测绘专业教学参考。

参加修订工作的人员有：管蔚光、周国义、吴甲生、谭德鹏、张桂根、陈振康等同志。

控制测量计算手册

(修 订 本)

冶金工业部成都勘察公司

*

冶金工业出版社出版

新华书店北京发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

*

787×1092 1/16 印张 33 插页 1 字数 789 千字

1972年12月第一版 1977年9月第二版第二次印刷

印数 11,801~37,700 册

统一书号：15062·3031 定价（科三）2.65 元

毛主席语录

列宁为什么说对资产阶级专政，这个问题要搞清楚。这个问题不搞清楚，就会变修正主义。要使全国知道。

鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义。

在生产斗争和科学实验范围内，人类总是不断发展的，自然界也总是不断发展的，永远不会停止在一个水平上。因此，人类总得不断地总结经验，有所发现，有所发明，有所创造，有所前进。停止的论点，悲观的论点，无所作为和骄傲自满的论点，都是错误的。

前 言

为了满足冶金勘察测量工作发展的需要，总结冶金系统及兄弟部门工程测量人员在三大革命斗争实践中，高举“鞍钢宪法”的光辉旗帜，大搞群众性的技术革新和技术改造运动所取得的经验，冶金部原勘察总公司和沈阳、武汉等冶金勘察公司的测量人员编写了《控制测量计算手册》一书，于一九七二年由冶金工业出版社出版，国内发行。

现根据广大读者的要求，我们对原书进行了修订工作。在修订过程中，我们先后到全国一些省、市冶金、城建、地质、铁道、机械、煤炭、电力等勘察部门以及有关测绘院校进行调查研究，并深入工程现场，广泛征求测量工人、干部和技术人员的意见。

这次修订中，对原书内容作了较大改动。删掉了不常用和不合适的方法；增加了直接使用“北极星高度和方位角表”计算方位角、光速测距计算、控制测量精度估算、三角测量概算中的图算、条件观测三组平差、绘制及编算误差方程式图、条件平差和间接平差的比较与选用、利用“固定系数表”作典型图形平差、线形锁直接求边、应用数表矩阵计算交会点、等级水准的正常高改正、三角高程网算例等内容和七十多个实际算例；改正了原书中的错误，并补充了附录。

上述部门的有关单位为修订本手册提供了许多宝贵经验和很好的意见。书中有关间接观测平差的补充，主要是参考了广西地质测绘队编写的《控制测量平差计算实例》（内部资料）。在此，一并表示感谢。

由于我们读马列和毛主席的著作不够，水平有限，缺乏实践经验，加之时间紧迫，书中可能还存在不少缺点和错误，欢迎广大读者批评指正。

冶金工业部成都勘察公司

一九七五年二月

32336

目 录

第一章 计算工作的组织和进行	1
第一节 计算工作开始前的准备.....	1
第二节 计算工作的检查.....	1
第三节 计算中数值的凑整规则.....	2
第四节 计算机的定位和使用中的一些技巧问题.....	4
第五节 对计算员的基本要求.....	5
第六节 计算资料的整理与装订.....	6
第二章 方位角和基线测量的计算	8
第一节 概述.....	8
第二节 时的概念.....	8
第三节 时的换算.....	9
第四节 观测恒星高度测定表差的计算.....	11
第五节 太阳等高法测定方位角的计算.....	14
第六节 太阳高度法测定方位角的计算.....	14
第七节 北极星任意时角法测定方位角的计算.....	18
第八节 直接使用天文年历“北极星高度和方位角”表计算北极星方位角.....	21
第九节 等时角法测定方位角的计算.....	23
第十节 子午线收敛角的计算.....	26
第十一节 经鉴定的普通钢尺丈量长度的计算.....	28
第十二节 基线测量外业手簿的检查.....	29
第十三节 基线测量的计算.....	30
第十四节 基线测量的精度评定.....	34
第十五节 DGS-Ⅱ型光速测距仪测距计算.....	36
第三章 坐标换带计算和坐标换算	46
第一节 概述.....	46
第二节 由地理坐标求高斯-克吕格平面坐标及其反算.....	46
第三节 从一带到相邻带的高斯坐标变换.....	50
第四节 应用最小二乘法进行平面坐标换算.....	54
第四章 控制测量精度估算	62
第一节 精度估算的意义及其一般推算方法.....	62
第二节 单三角锁边长和方位角中误差的估算.....	65
第三节 两端都有起算边的单三角锁边长中误差的估算.....	67
第四节 单三角锁纵、横误差的估算.....	69
第五节 线形三角锁精度的估算.....	72
第六节 基线网图形权倒数的估算.....	78
第七节 三角网边长和方位角中误差的估算.....	82

第八节	交会点的精度估算	86
第九节	导线测量的精度估算	87
第十节	水准测量最远点高程中误差的估算	91
第五章	三角测量的概算	95
第一节	概述	95
第二节	三角测量外业手簿的检查	95
第三节	三角测量测站平差	96
第四节	三角形概算及近似坐标的计算	102
第五节	测站点归心改正及照准点归心改正计算	104
第六节	方向改化和球面角超的计算	109
第七节	水平方向整理	112
第六章	三角网按条件观测平差	114
第一节	三角测量平差计算概述	114
第二节	条件方程式的种类	115
第三节	如何确定和选择条件方程式	121
第四节	条件方程式自由项的容许值	126
第五节	根据条件方程式组成法方程式	127
第六节	法方程式的解算	128
第七节	平差值权函数式的列法	132
第八节	平差值函数的中误差计算	133
第九节	三角网按条件观测平差的计算步骤	135
第十节	平差中的取位及注意事项	136
第十一节	基线网按条件观测平差算例(方向平差)	137
第十二节	三角网按条件观测平差算例(角度平差)	145
第十三节	按不等权观测的基线网平差算例	150
第十四节	克吕格两组平差	154
第十五节	两固定边间的单三角锁按克吕格两组平差算例	158
第十六节	连续中点多边形三角网按克吕格两组平差算例	163
第十七节	逐一分组分区平差	172
第十八节	逐一分组分区平差算例	177
第十九节	条件观测三组平差的原理	187
第二十节	简捷的三组平差法	193
第二十一节	单菱形基线网按简捷三组平差算例	200
第二十二节	中点多边形网按简捷三组平差算例	203
第七章	三角网按间接观测平差(坐标平差)	208
第一节	概述	208
第二节	三角测量按间接观测平差的原理	209
第三节	误差方程式的组成	211
第四节	史赖伯法则在三角网按间接观测平差中的应用	214

第五节	精度评定	217
第六节	间接观测方向平差的计算步骤	219
第七节	三角网按间接观测方向平差算例	221
第八节	绘制及编算误差方程式图(按角度平差)	226
第九节	法方程式的组成及解算	230
第十节	角改正数 v 及平差检查的计算	238
第十一节	间接观测角平差(坐标平差)的计算步骤	240
第十二节	三角网按间接观测角平差算例	243
第十三节	三角网坐标平差(按角度平差)算例	250
第十四节	交会定点的平差计算	259
第十五节	前方交会角平差算例	262
第十六节	前后方联合交会定点平差算例	264
第十七节	三角网按间接观测分区平差法的概念	268
第十八节	三角测量按间接观测平差和按条件观测平差的比较及选用	269
第八章	典型图形平差	271
第一节	概述	271
第二节	典型图形按固定系数表平差说明	271
第三节	典型图形固定系数表	277
第四节	菱形和大地四边形算例	305
第五节	定角中插入两点算例	309
第六节	定角内外插一点(其中定角及另一已知点两点未设站观测)算例	312
第七节	四边形中插入一点算例	315
第八节	三角形内、外各插一点算例	318
第九节	三角形内插入一点、外插三点算例	323
第十节	一点插入三角形内的平差	329
第十一节	四边形内插入一点的平差	332
第十二节	三角形内外各插一点和相邻两三角形内各插入一点的平差	336
第十三节	线形三角锁的严密平差	341
第九章	近似平差	351
第一节	概述	351
第二节	中点多边形(或半网形)的近似平差	351
第三节	单三角锁的近似平差	353
第四节	四边形的近似平差	356
第五节	线形锁的近似平差	358
第六节	线形锁直接求边法	368
第十章	导线(小三角)及解析图根点计算	374
第一节	附合量距导线的简略平差和计算	374
第二节	导线网的平差计算	375
第三节	视差导线及旁点交会导线	380

第四节	单一曲折导线的严密平差	387
第五节	单一直伸导线的严密平差	393
第六节	测角中误差 m_β^0 和量距偶然影响系数 μ 的计算	398
第七节	图根线形锁的计算	403
第八节	几种交会点的计算	405
第九节	应用数表矩阵计算交会点	412
第十一章	水准测量和三角高程测量计算	427
第一节	概述	427
第二节	水准测量外业手簿的检查	427
第三节	水准测量的精度评定和正常高改正	428
第四节	水准路线权的确定	431
第五节	水准网按条件观测平差	432
第六节	水准网按间接观测平差	436
第七节	等权代替法平差	441
第八节	结点平差(逐渐趋近法)	447
第九节	选环逐渐趋近平差	449
第十节	多边形平差(解析法)	457
第十一节	三角高程测量的计算	461
附录 1	$\lg \frac{1}{1-a}$ 表	469
附录 2	子午线收敛角系数表	478
附录 3	卯酉圈曲率半径(N)、子午圈曲率半径(M)、平均曲率半径(R)、纬圈半径(r)的数值及其对数表	479
附录 4	长度归化至某一高程面(大地水准面、海平面、测区平均高程面)改正数 ΔS_H 的系数 K 表	483
附录 5	长度投影至高斯平面上的改正数 ΔS 所需用的系数 K 表	484
附录 6	正弦对数的秒差表(精度估算用)	485
附录 7	$R(=\delta_A^2+\delta_B^2+\delta_A\delta_B)$ 值表	486
附录 8	归心改正数计算用表	490
附录 9	计算球面角超 ϵ'' 、方向改化 δ'' 等所需用的 f 、 $\frac{1}{3}f$ 、 f' 表	499
附录 10	方向系数表	500
附录 11	典型图形平差点位中误差计算表	507
附录 12	计算正常高改正数的系数 A 表	509
附录 13	地球曲率和折光差(两差)改正计算用表	511
附录 14	三角高程高差辅助改正用表	513
附录 15	法截面曲率半径计算用表	515
附录 16	测量计量单位名称表	518

第一章 计算工作的组织和进行

第一节 计算工作开始前的准备

计算工作是测量工作中的重要一环，对于控制测量而言，工作量虽不很大，但往往由于计算工作不能及时完成，而影响以下各工序的顺利开展。此外，计算工作涉及一些复杂的公式和数字，因而容易产生错误，所以计算工作是否能顺利进行，是测量工作的关键之一。它要求工作人员不但要有熟练的技巧，而更重要的是主人翁责任感和工作中的细心、耐心。

计算工作也和其他工序一样，在开始前要做好准备。准备工作应包括以下几点：

1. 工作的合理安排；
2. 计算工作需要的起算数据和有关资料（外业手簿、归心计算用纸……）的事先供应和了解；
3. 领取需要的用具与材料（计算机、算盘、对数表、真数表和其他用表、各种计算表格、计算用纸、必要的文具——铅笔、墨水、钢笔、小刀、浆糊等等）；
4. 在使用计算机前，应校验计算机有无跳位现象。检验时，可在计算机上拨出037 037 037，摇三次时（相当于上述数字 $\times 3$ ）应等于111 111 111。以后每继续连摇三次得数增加111 111 111，即 $037\ 037\ 037 \times 6 = 222\ 222\ 222$ ， $037\ 037\ 037 \times 9 = 333\ 333\ 333$ 。如果得数不对，即说明计算机齿轮有磨损，有跳字现象，该计算机应停止使用。但是有时计算机在校验中并无跳位现象，而在使用过程中碰到下述情况时产生跳位：

- （1）在演算时响铃，可能发生跳位；
- （2）在演算过程中摇把摇转不灵，如使劲时可能发生跳位；
- （3）在演算过程中摇把过分的往返转动，有时亦会出现跳位；
- （4）移位动作失调，可使转动部分卡住，此时亦易发生跳位。

上述四种情况，只有计算员在操作中留心才能发觉。因此，若工作中遇到上述情况，应重新计算一遍，以资校核，避免影响下步工作。

第二节 计算工作的检查

计算工作是一项严格的连续性工作，只要某一项计算发生错误，整个工作都将受到影响。同时整个计算都是和数字打交道的工作，随时都有可能发生错误，因此及时的发现和纠正错误是工作中的重要措施。计算者除了细心谨慎之外，还必须对所有的校验认真核算。另外对比较繁复重要的计算还必须组织对算和检查，一般可依下列方式进行。

一、对算

对算是由二名计算员用相同或不同的方法同时进行计算。当用相同方法进行对算时，它很难发现二人在计算过程中所发生的相同错误，而同样错误在二人同时发生的机会远较我们设想的多，尤其在经验不足时。同时由二人进行对算也常感到不便，因为其中一人在工作中的拖延和错误，都将直接影响第二人的工作。在用不同方法（公式）进行计算

时，可克服上述缺点，但当所得结果不同时也须二人各自从头开始检查。

二、检查

此处所称检查，系指一人从事计算，一人紧接检查。此法能赢得一些时间，但检查者必须由谨慎细心、富有经验的人担任。必须明确检查者的责任是确保成果质量，对未能发现的错误所负责任应较计算者为重，否则容易发生依样画葫芦的现象，使这一工作流于形式。

三、图解法

图解法是防止计算结果发生大错的可靠检查，特别对一些数值不大的改正数正负号的决定，如归心改正等有极其重大的意义。

在计算和检查中发现错误时，不论数值和性质如何均应改正。修改时可用小刀刮去或用纸条粘贴错误处，然后写上正确数值，并应保持整洁。

第三节 计算中数值的凑整规则

测量工作中，除外业产生的误差外，在内业计算中也会因数字的取舍而产生凑整误差，所以在计算过程中必须依照一定的规则进行凑整。因为取位少了，会有损外业成果的精度；取位多了，又增加不必要的计算工作。

一、凑整规则

为了避免凑整误差的迅速积累，在测量计算工作中通用如下的凑整规则，它与习惯上“四舍五入”规则基本相同。

1. 若数值中被舍去部分的数值，大于所保留的末位的0.5，则末位加1。如将数字6.378501凑整成小数后三位，依上述规则得6.379。
2. 若数值中被舍去部分的数值，小于所保留的末位的0.5，则末位不变。如将数字7.614499凑整成小数后三位，依上述规则得7.614。
3. 若数值中被舍去部分的数值，等于所保留的末位的0.5，则末位凑成偶数。如将数字4.5105，5.6235凑整成小数后三位，依上述规则得4.510，5.624。

二、计算中数字的凑整

1. 加减时凑整的规则是，在相加减各项中，以小数位最少的项为标准，其余各项均凑整成较该项多取一位。

例如求60.4米，2.02米，23.212米的和应取

$$60.4\text{米} + 2.02\text{米} + 23.21\text{米} = 85.63\text{米}$$

这里多取一位是为了不因凑整而严重地影响结果精度，因此多保留的一位数字，称为安全数字。

2. 在进行乘、除、乘方和开方运算时，若各因子具有不同个数的有效数字，则以各因子中“数字”个数最少的为准，其余各因子及乘积（商）均凑整成比该因子多一个“数字”，而与小数点位置无关。例如：

(1) 二个数字因子232.12与0.34相乘，则应为

$$232 \times 0.34 = 78.88$$

得数为78.9。

(2) 求 $\frac{603.21 \times 0.32}{4.011} = ?$

依上述规则得: $\frac{603 \times 0.32}{4.01} = 48.1$

(3) 求 $696^2 = ?$

解: $696^2 = 4844 \times 10^2$

(4) 求 $\sqrt{3869} = ?$

解: $\sqrt{3869} = 62.201$

3. 对数小数位的多寡与真数必须相适应, 一般说来, 对 n 个数字的数值, 用对数运算时, 应该采用 n 位的对数表。

4. 三角函数六位函数表的凑整误差最大 0.5×10^{-6} , 除了正弦接近 90° 、余弦接近 0° 以外, 它比真数凑整到 $1'$ 时所引起的误差为小。故一般说来, 真数凑整到 $1'$ 时, 可采用六位函数表。相应的:

当角度精度达 $0''.1$ 时, 采用 7 位函数表;

当角度精度达 $0''.01$ 时, 采用 8 位函数表。

至于三角函数的对数表, 一般来说, 可以遵照同样的规则。

以上只是从数表本身精度来考虑问题。

5. 根据要求精度决定数值的“字”数问题

例: 有一系列真误差 $\Delta_1 = 2.25$, $\Delta_2 = 1.25$, $\Delta_3 = 1.75$, $\Delta_4 = 0.75$, 按公式 $m = \pm \sqrt{\frac{[\Delta\Delta]}{n}}$ 计算中误差时, 要求 m 有两位正确数字, 问计算中的小数位应如何决定。

照上文所述, 若 m 要两位数字, 则 $[\Delta\Delta]$ 也只要有两位数字就相适应了。但作为安全数字, $[\Delta\Delta]$ 可取三位数字。

即

$$\Delta_1^2 = 2.25^2 = 5.06$$

$$\Delta_2^2 = 1.25^2 = 1.56$$

$$\Delta_3^2 = 1.75^2 = 3.06$$

$$\Delta_4^2 = 0.75^2 = 0.56$$

$$[\Delta\Delta] = 10.24 \approx 10.2$$

$$m = \pm \sqrt{\frac{10.2}{4}} = \pm \sqrt{2.55} = \pm 1.6$$

若全部“大乘大除”则 Δ^2 有 5 个数字, $[\Delta\Delta]$ 有 6 个数字, 结果答案取用两位仍是 1.6, 但工作量却大得多了。

6. 当计算须满足一定条件的改正数值时, 改正数的凑整, 须使凑整误差对以后的计算精度影响最小。

例如: 平差三角形 A 、 B 、 C 三内角于表 1—1 中:

改正数 $1''.4$ 的精度最低, 即其对于正确改正数 $-\frac{4.4}{3} = -1.47$ 有较大的剩差。此改正

数应代入最近于直角的角度，因为该角的正弦对数秒差最小；这样，当解算三角形时，改正数凑整误差对于边长的影响才能最小。

本节所提及的，只是一般简单的运算。至于各种具体的计算工作，其数字的凑整与检核限差的规定，在相应的规范中另有规定。

表 1—1

顶 点 名 称	观 测 角 值 "			改 正 "	平 差 后 角 度 "		
A	47	16	38.2	-1.5	47	16	36.7
B	44	37	19.4	-1.5	44	37	17.9
C	88	06	06.8	-1.4	88	06	05.4
Σ	180	00	04.4	-4.4	180	00	00.0

第四节 计算机的定位和使用中的一些技巧问题

在用计算机进行解算时，有时往往对整数位和小数位分不清，这方面可以采用一种简单的定位法。首先估计一下计算的数字可能有的整数位和需要的小数位，然后在拨数器上定出整数位来，并拨出数字1.0；再在转数器上定出整数位，且使拨出的数字 $\times 1.0$ （即用摇把在加的方向摇一下）；那么，在得数器上应得出 $1.0 \times 1.0 = 1.0$ 。此时可知得数器上小数位应在1的后面。

至于开（平）方的定位方法是，在整数时由个数位往前每二位分作一节，而每一节等于其根有一位整数值。例如 $\sqrt{4225}$ ，依上述规则分为42、25两节，其根有二位整数（=65），运算从42开始；又如 $\sqrt{17424}$ 可分为1、74、24三节，其根有三位整数（=132），运算从1开始。若为小数时，则由小数位往后每二位分作一节，例如 $\sqrt{0.5625}$ ，依上述规则可分成二节，运算从56开始，因小数后第一节有数值，便知其根大于0.1（=0.75）；又如 $\sqrt{0.000256}$ 可分为三节，运算从02开始，而小数后第一节为00，第二节02，故知其根小于0.1而大于0.01（=0.016）。在开（平）方运算中，还可以酌量用近似的方法求具有一定精度的根。如利用 $S = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$ 公式求二点间的距离时，在一公里以上和一公里以下的距离，当采用一般开方的方法分别求出米和分米以上数值以后，不再动计算机拨数器的数值，改用除法求米或分米以下的数值。其结果和全部用开方方法求得的完全相同。

在计算机的使用中，尚可用一些方法使计算工作加快。如好几个数值同时被一个相同的数值来除，可以用除数的倒数来遍乘所有被除数，也能得到同样的结果，而显然乘法要比除法方便得多。使用计算机的技巧很多，难以逐一举例。一般说来主要根据每项计算的特点充分地运用计算机的性能。如在三角边长计算中，可以逐个三角形解算，也可以连续地解算所有三角形，而后的速度明显地超过前者。如图1—1。

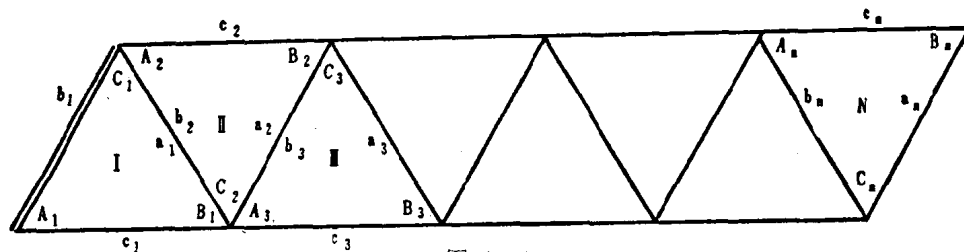


图 1—1

设 A 角对前进边 a ， B 角对已知边 b ， C 角对间隔边 c 。由正弦定律：

$$\left. \begin{aligned} a &= \frac{b}{\sin B} \times \sin A \\ c &= \frac{b}{\sin B} \times \sin C \end{aligned} \right\} \quad (1-1)$$

由图可知前一三角形的 a 边即为后一三角形的 b 边， c 边不参予三角锁边长计算的推进。在利用公式 (1-1) 计算 a 和 c 边时，由于都含有 $\frac{b}{\sin B}$ 这一项，所以计算时可先将 b 边除以 B 角正弦函数，其商先乘 C 角正弦函数得间隔边长 c ；然后仍用其商乘以 A 角正弦函数，得前进边长 a 。而这前进边正是下一个三角形的已知边，这样在计算机上可以不必去掉其数值，随即用下一个三角形的 B 角正弦函数来除。如此以相同方法计算下去，可一直连续推算至最后一个三角形为止。如果所用计算机为黑人头等类型，还可以改 $\frac{b}{\sin B}$ 为 $b \csc B$ ，其积利用计算机上的转换装置返到拨数器上继续作连乘计算。

第五节 对计算员的基本要求

每个计算员，都必须在思想上树立高度的革命责任感，努力搞好本职工作。使工作符合多快好省的要求，尽快地提交计算成果，早日应用于生产，早日在社会主义建设事业中发挥作用。这样，就要求我们每个计算员要有完全、彻底为人民服务，为无产阶级革命事业奋斗终身的精神。在工作中要有勤勤恳恳、任劳任怨、踏踏实实的劳动态度，还要有满腔热情和革命干劲；要思想集中，全神贯注，细心谨慎而又细致地完成每一步、每一环节、每一项的计算。所有这些都是保证完成计算工作的先决条件。除此之外，每个计算员还必须有一手熟练的基本功，必须在日常工作中做到：

1. 拟定周密的工作计划，详细考虑完成计划的有利及不利因素。

2. 争取在工作前把将要进行计算的内容和要求弄清楚。对一些没有做过或感到生疏的工作，应事先找参考书籍加以熟悉。

3. 熟记规范中所规定的各项限差和本测区的特殊技术要求。对一些常用数据，可制成表格以备随时应用查对。

4. 需善于利用迅速简便的方法进行计算，如：

(1) 数字很少的计算(如查表时的内插等)，应养成默算的习惯，这可使计算速度加快；

(2) 熟记一些常用的常数和公式，如20以内的平方数和平方根；每 10° 三角函数前二位的概值。这不仅可加快查表速度，更有助于检查错误；

(3) 学会熟练的使用算盘。在一些计算中，它是比较好的计算工具；

(4) 配备各种辅助用表，如平方表，平方根表， $\frac{1}{n}$ 及 $\frac{1}{n^2}$ ……等等。

5. 工作中应全神贯注，才能不发生错误或少发生错误。各个计算应分为若干个阶段，而每当一个阶段结束后，应进行验算和检查，以便尽快地发现错误。计算者要致力于发现计算中的错误和探求发生错误的原因，以便积累经验。一个计算员的熟练程度、经验

丰富的重要标志之一就是工作细心谨慎，判断错误迅速正确。

6. 计算成果书写要清楚、端正，不得了草模糊，须尽量使成果保持清洁、整齐；计算过程清晰、明确。为此要求做到：

(1) 注意成果不受污染，不使纸角折坏；

(2) 计算过程有错误时，应以小刀轻轻刮去，或用红笔划去，重新写上正确数字；或用贴补的办法。一般不允许将计算成果重新誊写一遍，如不得已需要誊写时，必须再三校对。禁止任意乱涂乱改；

(3) 书写数字时须使同一数值中的各数位与另一数值中相应数位对齐；

(4) 由多位数字组成的数值，应适当留出间隔，如写七位对数时应写成 4.378 5462；

(5) 应经常想到，自己的计算成果不但要自己看得懂，并且要让别人看得懂，所以在适当的地方要加必要的附注。如：何人于何时进行计算的；起算数据于何处抄得……等。因为不作适当的附注与说明，则目前认为明确的东西，经过一段时间以后，会浪费很多时间理解与证明自己计算的准确性，而别人在利用这些资料时将浪费更多的时间进行分析；

(6) 设计和使用计算表格时，必须考虑装订，特别使用正反两面都可利用的计算表格，应先在装订位置留在左边的一面进行计算，然后再使用它的反面；

(7) 对各项中误差的计算必须齐全，以便对成果质量作出恰当的评价。

7. 经过一个阶段的工作应及时总结，以吸取工作中的教训，积累经验，提高计算技术。

第六节 计算资料的整理与装订

计算结束后，应对计算资料进行整理和装订，以便于归档保管。这些计算资料不仅要完整无缺，而且应力求美观、整齐，装订成册。

计算资料按每一测区、每一单项工程、每一工作种类分别装订。每一测区的资料一般包括如下内容：

1. 各级控制测量的水平角（方向）观测手簿。
2. 基线测量手簿及其附属资料（如轴杆头水准测量等）。
3. 基线测量计算资料（或光电测距计算资料）。
4. 各级控制测量的概算及平差计算。
5. 各级水准测量的观测手簿。
6. 各级水准测量的计算和平差。
7. 各级控制点成果表。
8. 各种辅助和补充计算资料。

除业手簿和成果表外，每种平差计算资料可分成厚度大致相同的几册，每册都应有一个封面，封面上写明：

1. 资料名称。
2. 所属地区名称。
3. 进行工作的年度。

每册应编有目录,以示该册所包括的内容及进行该项计算的页数。为了便于以后利用,目录后应附计算说明。计算说明必须简单明了而又说明问题,其内容包括:

1. 起算数据的来源、等级、精度及一般情况简介。

2. 工作进行时间,采用的方法(包括内外业)。

3. 依据的技术标准。

4. 平差计算方法,特别是新的计算方法,应在说明中附带注明刊载此种新方法的刊物名称和期数。

5. 工作质量的简单评价(三角网中的测角中误差、最大三角形闭合差、最弱边相对误差……等以及水准网中每公里系统中误差、偶然中误差……等等),特别对外业观测成果中的质量事故采取的技术措施,应在说明中详细交待。

6. 注出计算资料之间的相互关系。

资料的装订以计算的程序编排,即按概算、平差、最终成果计算的次序。但在目录后、概算前最好附有成果表和控制网略图,以便于利用。如计算是由两人进行对算,可以分为正副本分别装订。

主要参考文献

〔1〕 武汉测绘学院最小二乘法教研组编:最小二乘法,1961年,中国工业出版社。

〔2〕 格拉西莫夫:实用二、三、四等三角测量计算手册,1957年,测绘出版社。

第二章 方位角和基线测量的计算

第一节 概 述

工程测量控制网所用的坐标及高程系统,一般应与国家网或附近的城市系统取得一致。因此凡是国家控制网到达的地区,工程测量的首级控制必须与国家控制进行联系。但是,国家控制网的精度有时个别地满足不了工程测量小面积大比例尺的测图需要,或者在国家控制网尚未到达的地区进行工程测量时,可先布设各种形式的独立控制网,作为工程测量的首级控制。

在国家控制网精度上满足不了大比例尺测图的地区,独立的控制网可利用国家控制网一点的坐标和一边的坐标方位角作为起算数据,此外自行精密丈量基线作为长度的依据;在附近没有国家或城市的高级点可以利用时,则须假设坐标原点、丈量基线和测定天文方位(真北方位),作为控制网的起算依据。

在长达几十以至几百公里的各种线路测量中,亦需要于两端或每隔一定距离处测定天文方位角,以校核方向(但一般不作为平差条件)。

由于工程测量的特点是小面积大比例尺测图,对于天文方位的精度要求并不太高,故本章介绍的方法是基于方位角平均值中误差为 $10'' \sim 1'$ 的基础上提出的。

第二节 时的概念

地球上观测天体的位置随时刻而变,所以观测的时候,除了观测天体的空间位置外,尚需观测“时”才可以解决天文测量的问题。

时的意义,可分为时间和时刻两种。时间是指时的一段间隔,如说这次观测历时三小时。时刻是指某一瞬间时的位置,如说我们应在今晚7时30分开始观测。两者绝不能混淆。

宇宙间最自然的时间单位,就是地球自转一周的时间,称之为一日,一日的 $1/24$ 为一小时(h),一小时的 $1/60$ 为一分(m),一分的 $1/60$ 为一秒(s)。但因地球与太阳等恒星间有不同的关系,因此根据太阳和恒星就得到了两种不同的时间单位。

一、恒星时

恒星(以春分点统一代替)连续两次经过上中天的时间间隔称为一恒星日,其 $1/24$ 为一恒星时,一小时的 $1/60$ 为一分,一分的 $1/60$ 为一秒。恒星时的含意可以用图表示,如图2-1中, M 代表观测者子午圈与赤道的交点,则 $\angle VM$ 即为观测者的地方恒星时,以 S 表示,亦即 V 的时角(V 代表春分点)。 α 为天体的赤经, t 为该天体的时角,由此可算出该瞬间观测地点的地方恒星时

$$S = \alpha + t \quad (2-1)$$

二、平太阳时

视太阳连续两次经过下中天的时间间隔称一视太阳日。因地球绕太阳运行的速度不一,故视太阳日时间长短不等,不能作为单位。天文学界就取太阳一周年的时间,以其全年视太