

# 控制测量计算手册

冶金工业出版社



# 控制測量計算手冊

冶金工業部勘察總公司編

冶金工業出版社

# **控制测量计算手册**

冶金工业部勘察总公司编

(只限国内发行)

\*

冶金工业出版社出版

新华书店发行

北京印刷一厂印刷

\*

开本小 16 印张 22 字数 519 千字

1972 年 12 月第一版 1972 年 12 月第一次印刷

印数 00,001~11,800 册

统一书号: 15062·3031 定价 (科四) 1.80 元

# 毛主席语录

G196104  
备战、备荒、为人民。

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。

# 毛主席语录

对于外国文化，排外主义的方针是错误的，应当尽量吸收进步的外国文化，以为发展中国新文化的借镜；盲目搬用的方针也是错误的，应当以中国人民的实际需要为基础，批判地吸收外国文化。

我们不能走世界各国技术发展的老路，跟在别人后面一步一步地爬行。我们必须打破常规，尽量采用先进技术，在一个不太长的历史时期内，把我国建设成为一个社会主义的现代化的强国。

中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。

## 出版说明

在工程测量中，常常遇到多种多样的计算工作，由于计算项目很多，公式极繁，常易遗忘。为了使测量人员在现场计算时有所参照，冶金工业部原勘察总公司于1964年编印了这本《控制测量计算手册》作为内部资料发行。

手册总结了冶金等系统工程测量人员在三大革命斗争实践中，坚决执行伟大领袖毛主席制定的“鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义”的总路线，大搞群众性技术革命和技术革新运动所取得的经验。手册中搜集了工程测量单位在控制测量方面所涉及的大部分计算项目，附以实例和各个计算步骤的说明，并扼要地推导公式的来源。此外，还搜集了较新的计算方法。

为了适应冶金勘察工作发展的需要，根据冶金系统和其他有关勘察测量单位广大读者的要求，我社决定公开出版这本手册。这次出版前，只将手册中印刷差错作了修改。

由于出版时间紧迫等原因，对近几年来在控制测量方面的新经验未能加以补充，加之水平有限，手册在内容、方法及其他方面可能存在不少缺点和错误，希望读者批评指正。

# 目 录

|                              |    |
|------------------------------|----|
| <b>第一章 计算工作的组织和进行</b> .....  | 1  |
| § 1—1 计算工作开始前的准备.....        | 1  |
| § 1—2 计算工作的检查.....           | 1  |
| § 1—3 计算中数值的凑整規則.....        | 2  |
| § 1—4 计算机的定位和使用中的一些技巧問題..... | 4  |
| § 1—5 計算員的基本要求.....          | 5  |
| § 1—6 計算資料的整理与装訂.....        | 6  |
| <b>第二章 方位角和基线测量的计算</b> ..... | 8  |
| § 2—1 概述.....                | 8  |
| § 2—2 时的概念.....              | 8  |
| § 2—3 时的换算.....              | 9  |
| § 2—4 观测恒星高度测定表差的計算.....     | 10 |
| § 2—5 太阳等高法求方位角的計算.....      | 14 |
| § 2—6 太阳高度法求方位角的計算.....      | 14 |
| § 2—7 北极星任意时角法测定方位角的計算.....  | 18 |
| § 2—8 等时角法测定方位角的計算.....      | 21 |
| § 2—9 子午綫收敛角的計算.....         | 24 |
| § 2—10 經鑑定的普通鋼尺丈量长度的計算.....  | 26 |
| § 2—11 基綫測量外业手簿的检查.....      | 27 |
| § 2—12 基綫測量的計算.....          | 28 |
| § 2—13 折基綫的計算.....           | 33 |
| § 2—14 基綫測量的精度評定.....        | 35 |
| <b>第三章 三角测量的概算</b> .....     | 37 |
| § 3—1 概述.....                | 37 |
| § 3—2 三角測量外业手簿的检查.....       | 37 |
| § 3—3 三角測量測站平差.....          | 38 |
| § 3—4 三角形概算及近似坐标的計算.....     | 40 |
| § 3—5 測站点归心改正及照准点归心改正計算..... | 45 |
| § 3—6 方向改化和球面角超的計算.....      | 50 |
| § 3—7 水平方向整理.....            | 53 |
| <b>第四章 三角网按条件观测平差</b> .....  | 54 |
| § 4—1 基本概念.....              | 54 |
| § 4—2 条件方程式的种类.....          | 55 |
| § 4—3 如何确定和选择条件方程式.....      | 61 |
| § 4—4 条件方程式自由項的容許值.....      | 66 |
| § 4—5 根据条件方程式組成法方程式.....     | 67 |

|            |                          |            |
|------------|--------------------------|------------|
| § 4—6      | 法方程式的解算                  | 68         |
| § 4—7      | 平差值权函数式的列法               | 70         |
| § 4—8      | 平差值函数的中误差计算              | 73         |
| § 4—9      | 三角网按条件观测平差的计算步骤          | 75         |
| § 4—10     | 平差中的取位及注意事项              | 76         |
| § 4—11     | 三角网按条件观测平差算例 (方向平差)      | 77         |
| § 4—12     | 三角网按条件观测平差算例 (角度平差)      | 85         |
| § 4—13     | 按不等权观测的基线网平差             | 89         |
| § 4—14     | 克吕格两组平差                  | 93         |
| § 4—15     | 克吕格两组平差法算例               | 96         |
| § 4—16     | 逐一分组平差                   | 102        |
| § 4—17     | 逐一分组平差算例                 | 107        |
| <b>第五章</b> | <b>典型图形平差</b>            | <b>114</b> |
| § 5—1      | 概述                       | 114        |
| § 5—2      | 一点插入固定角内的平差              | 114        |
| § 5—3      | 两点插入一角内的平差               | 116        |
| § 5—4      | 一点插入三角形内 (或外) 的平差        | 120        |
| § 5—5      | 四边形内插入一点的平差              | 125        |
| § 5—6      | 三角形内外各插一点和相邻两三角形内插入两点的平差 | 129        |
| § 5—7      | 三角形内一次插入三点的平差            | 133        |
| § 5—8      | 线形三角锁的严密平差               | 141        |
| <b>第六章</b> | <b>三角网按间接观测平差</b>        | <b>152</b> |
| § 6—1      | 概述                       | 152        |
| § 6—2      | 方向变动和坐标变动的关系             | 152        |
| § 6—3      | 误差方程式的组成                 | 153        |
| § 6—4      | 应用史赖伯第三法则消去定向改正数         | 154        |
| § 6—5      | 间接观测方向平差的计算步骤            | 155        |
| § 6—6      | 三角网按间接观测方向平差算例           | 157        |
| § 6—7      | 史赖伯法则在三角网按间接观测平差中的应用     | 162        |
| § 6—8      | 按角度进行三角网间接观测平差           | 165        |
| § 6—9      | 按间接观测角平差的计算步骤            | 166        |
| § 6—10     | 三角网按间接观测角平差算例            | 168        |
| § 6—11     | 用逐渐趋近法解法方程式              | 176        |
| § 6—12     | 前方交会角平差算例                | 179        |
| <b>第七章</b> | <b>近似平差</b>              | <b>182</b> |
| § 7—1      | 概述                       | 182        |
| § 7—2      | 多边形中心形 (或半网形) 的近似平差      | 182        |
| § 7—3      | 单三角锁的近似平差                | 184        |
| § 7—4      | 四边形的近似平差                 | 188        |

|                                                                                    |     |
|------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| § 7—5 綫形鎖的近似平差·····                                                                | 189 |
| <b>第八章 水准测量和三角高程测量计算</b> ·····                                                     | 198 |
| § 8—1 概述·····                                                                      | 198 |
| § 8—2 水准测量外业手簿的检查·····                                                             | 198 |
| § 8—3 水准测量高差表的編制和精度評定·····                                                         | 199 |
| § 8—4 水准路綫权的确定·····                                                                | 202 |
| § 8—5 水准网按条件观测平差·····                                                              | 203 |
| § 8—6 水准网按間接观测平差·····                                                              | 207 |
| § 8—7 等权代替法平差·····                                                                 | 213 |
| § 8—8 結点平差 (逐漸趋近法) ·····                                                           | 218 |
| § 8—9 选环逐漸趋近法平差·····                                                               | 220 |
| § 8—10 多边形平差 (解析法) ·····                                                           | 227 |
| § 8—11 三角高程测量的計算·····                                                              | 231 |
| <b>第九章 导线 (小三角) 及解析图根点计算</b> ·····                                                 | 234 |
| § 9—1 附合量距导綫的簡略平差和計算·····                                                          | 234 |
| § 9—2 导綫网的平差計算·····                                                                | 237 |
| § 9—3 視差导綫及旁点交会导綫·····                                                             | 241 |
| § 9—4 单一曲折导綫的严密平差·····                                                             | 248 |
| § 9—5 单一直伸导綫的严密平差·····                                                             | 256 |
| § 9—6 測角中誤差 $m_\beta''$ 和量距偶然影响系数 $\mu$ 的計算·····                                   | 259 |
| § 9—7 图根綫形鎖的計算·····                                                                | 264 |
| § 9—8 几种交会点的計算·····                                                                | 267 |
| <b>第十章 坐标換带计算和坐标換算</b> ·····                                                       | 276 |
| § 10—1 由地理坐标求高斯克呂格平面坐标及其反算·····                                                    | 276 |
| § 10—2 从一带到相邻带的高斯坐标变换·····                                                         | 280 |
| § 10—3 应用最小二乘法进行平面坐标換算·····                                                        | 282 |
| <b>附 录</b>                                                                         |     |
| 附录 1 三角測量几种图形的精度估算表·····                                                           | 290 |
| 附录 2 (a)、(b) 系数表 ·····                                                             | 297 |
| 附录 3 归心改正数計算用表·····                                                                | 304 |
| 附录 4 $\lg \frac{1}{1-a}$ ·····                                                     | 313 |
| 附录 5 子午綫收斂角系数表·····                                                                | 322 |
| 附录 6 我国旧有各水准起算基准面与黄海平均海水面的关系·····                                                  | 323 |
| 附录 7 卯酉圈曲率半径 ( $N$ )、子午圈曲率半径 ( $M$ )、<br>平均曲率半径 ( $R$ )、緯圈半径 ( $r$ ) 的数值及其对数表····· | 324 |
| 附录 8 計算球面角超、方向改化、距离改化所需的 $f_m$ 、 $f'_m$ 表·····                                     | 330 |
| 附录 9 曲率半径計算用表·····                                                                 | 331 |
| 附录 10 測量計算单位名称表·····                                                               | 333 |

# 第一章 計算工作的組織和進行

## § 1—1 計算工作開始前的準備

計算工作是測量工作中的重要一環，對於控制測量而言，工作量雖不很大，但往往由於計算工作不能及時完成，而影響以下各工序的順利開展。此外，計算工作涉及一些複雜的公式和數字，因而容易產生錯誤，所以計算工作是否能順利進行，是整个測量工作的關鍵。它要求工作人員不但要有熟練的技巧，而更重要的是工作中的細心和耐心。

計算工作也和其他工序一樣，在開始之前要做好準備。準備工作應包括以下幾點：

1. 工作之合理安排；
2. 計算工作需要的起算數據和有關資料（外業手簿、歸心計算用紙……）的事先供應和了解；
3. 領取需要的用具與材料（計算機、算盤、對數表、真數表和其他用表、各種計算表格、計算用紙、必要的文具——鉛筆、蘭、紅墨水、鋼筆、小刀、漿糊等等）；
4. 在使用計算機之前，應校驗計算機有無跳位現象。檢驗時，可在計算機上撥出 037 037 037，搖三次時（相同於上述數字  $\times 3$ ）應等於 1 11 111 111。以後每繼續連續搖三次得數增加 111 111 111，即  $037\ 037\ 037 \times 6 = 222\ 222\ 222$ ， $037\ 037\ 037 \times 9 = 333\ 333\ 333$ 。如果得數不對，即說明計算機齒輪有磨損，有跳字現象，該計算機應停止使用。但是有時計算機在校驗中並無跳位現象，而在使用過程中碰到下述情況時產生跳位：

- （1）在演算時响鈴，可能發生跳位；
- （2）在演算過程中搖把搖轉不靈，如使勁時可能發生跳位；
- （3）在演算過程中搖把過份的往返轉動，有時亦會出現跳位；
- （4）移位動作失調，可使轉動部分卡住，此時亦易發生跳位。

上述四種情況，只有計算員在操作中留心才能發覺。因此，若工作中遇到上述情況，應重新計算一遍，以資校核，避免影響下步工作。

## § 1—2 計算工作的檢查

計算工作是一項嚴格的連續性工作，只要某一項計算發生錯誤，整個工作都將受到影響。同時整個計算都是和數字打交道的工作，隨時都有可能發生錯誤，因此及時的發現和糾正錯誤是工作中的重要措施。計算者除了細心謹慎之外，還必須對所有的校驗認真核算。另外對比較繁複重要的計算還必須組織對算和檢查，一般可依下列方式進行：

**一、對算：**對算是由二名計算員用相同或不同的方法同時進行計算。當用相同方法進行對算時，它很難發現二人在計算過程中所發生的相同錯誤，而同樣錯誤在二人同時發生的機會遠較我們設想的多，尤其在經驗不足時。同時由二人進行對算也常感到不便，因為其中一人在工作中的拖延和錯誤，都將直接影響第二人的工作。在用不同方法（公式）進行計算時，可克服上述缺點，但在所得結果不同時也須二人各自從頭開始檢查。

**二、檢查：**此處所稱檢查，系指一人從事計算，一人緊接檢查。此法能贏得一些時

間，但检查者必須由謹慎細心、富有經驗的人担任。必須了解检查者的責任是確保成果質量，對未能發現的錯誤所負責任應較計算者為重，否則容易發生依樣畫葫蘆的現象，使這一工作流於形式。

**三、圖解法：**圖解法是防止計算結果發生大錯的可靠檢查，特別對一些數值不大的改正數正負號的決定，如歸心改正等有極其重大的意義。

在計算和檢查中發現錯誤時，不論數值和性質如何均應改正，在修改時可用小刀刮去或用紙條粘貼錯誤之處，然後寫上正確數值，並應保持整潔。

## § 1—3 計算中數值的湊整規則

測量工作中，除外業產生的誤差外，在內業計算中也會因數字的取舍而產生湊整誤差，所以在計算過程中必須依照一定的規則進行湊整。因為取位少了，會有損外業成果的精度，取位多了，又增加不必要的計算工作。

### 一、湊整規則

為了避免湊整誤差的迅速積累，在測量計算工作中通用如下的湊整規則，它與習慣上“四舍五入”規則基本相同。

1. 若數值中被舍去部分的數值，大於所保留的末位的 0.5，則末位加 1。如將數字 6.378501 湊整成小數後三位，依上述規則得 6.379，

2. 若數值中被舍去部分的數值，小於所保留的末位的 0.5，則末位不變。如將數字 7.614499 湊整成小數後三位，依上述規則得 7.614；

3. 若數值中被舍去部分的數值，等於所保留的末位的 0.5，則末位湊成偶數。如將數字 4.5105，5.6235 湊整成小數後三位，依上述規則得 4.510，5.624。

### 二、計算中數字的湊整

1. 加減時湊整的規則是，在相加減各項中，以小数位最少的項為標準，其餘各項均湊整成較該項多取一位。

例如求 60.4 米，2.02 米，23.212 米的和應取

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

這裡多取一位是為了不因湊整而嚴重地影響結果精度，因此多保留的一位數字，稱為安全數字。

2. 在進行乘、除、乘方和開方運算時，若各因子具有不同個數的有效數字，則以各因子中“數字”個數最少的為準，其餘各因子及乘積（商）均湊整成比該因子多一個“數字”，而與小数點位置無關。例如：

（1）二個數字因子 232.12 與 0.34 相乘，則應為

$$232 \times 0.34 = 78.88$$

答數為 78.9。

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

依上述規則得： $\frac{603 \times 0.32}{4.01} = 48.1$

(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  $0.5 \times 10^{-6}$ , 除了正弦接近  $90^\circ$  余弦接近  $0^\circ$  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, 一般说来, 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. 根据答案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, 要求  $m$  有两位正确数字, 问计算中的小数位应如何规定。

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  $\Delta^2$  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  $A$ 、 $B$ 、 $C$  之各角于表 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, 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

| 頂 点 名 称 | 观 测 角 值 |     |       | 改 正 数 | 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  |

## § 1—4 计算机的定位和使用中的一些技巧問題

在用计算机进行解算时，有时往往对整数位和小数位鬧不清，这方面可以采用一种简单的定位法。首先估計一下計算的数字可能有的整数位和需要的小数位，然后在取数盘定出整数位来，并拨出数字 1.0，再在計数盘上定出整数位，且使拨出之数字  $\times 1.0$ （即用搖把在加的方向搖一下），那么，在得数盘应得出  $1.0 \times 1.0 = 1.0$ ，此时可知得数盘上小数位应在 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  $\sqrt{4225}$ ，依上述規則分为 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，則由小数位往后每二位分作一节，例如  $\sqrt{0.5625}$ ，依上述規則可分成二节，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  $S = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$  公式求二点間的距离时，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別求出来和分米以上数值以后，不再动计算机拨数盘的数值，改用除法求米或分米以下的数值。其結果和全部用开方方法求得的完全相同。

在计算机的使用中，尚可用一些方法使計算工作加快，如好几个数值同时給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，也能得到同样的結果，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。一般說来主要根据每項計算的特点充分地运用计算机的性能，如在三角边长計算中，可以逐个三角形解算，也可以連續地把所有三角形解算，而后者的速度明显的超过前者。如图 1-1。

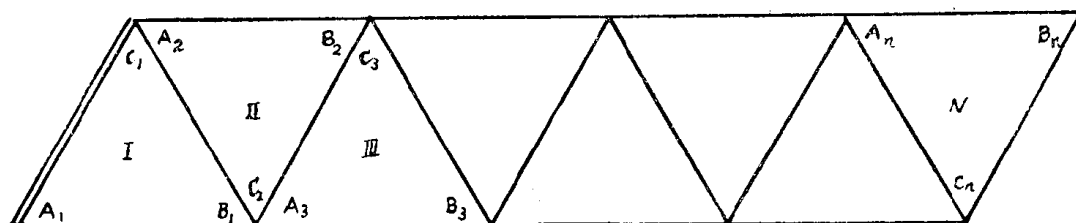


图 1—1

設  $A$  角对前进边， $B$  角对已知边， $C$  角对間隔边。由正弦定律：

$$\left. \begin{aligned} BC &= \frac{AC}{\sin B} \times \sin A \\ AB &= \frac{AC}{\sin B} \times \sin C \end{aligned} \right\} \quad (1-1)$$

由图可知前一三角形的  $BC$  边即为后一三角形的  $AC$  边,  $AB$  边不参与三角锁边长的推进。在利用公式 (1-1) 计算  $BC$  和  $AB$  边时, 由于都含有  $\frac{AC}{\sin B}$  这一项, 所以计算时可先将  $AC$  边除以  $B$  角正弦函数, 其商先乘  $C$  角正弦函数得间隔边长 ( $AB$ ), 然后仍用其商乘以  $A$  角正弦函数, 得前进边长 ( $BC$ ), 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  $\frac{AC}{\sin B}$  为  $AC \csc B$ , 其积利用计算机上的转换装置返到拨数盘上继续作连乘计算。

## § 1—5 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责任感, 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, 就必须使思想革命化。而思想的革命化体现在具体计算工作中, 就是要求我们每个计算员要有为人民服务、把革命事业干到底的精神。在工作中要有勤勤恳恳、任劳任怨、踏踏实实的劳动态度, 还要有满腔的热情和革命的干劲; 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。所有这些都能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, 必须在日常工作做到:

1. 拟定周密的工作计划, 详细的考虑完成计划的有利及不利因素。
2. 争取在工作之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), 应养成心算的习惯, 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  $10^\circ$  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, 它是最好的计算工具;
  - (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, 以便尽快的发现错误。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細心謹慎，判断錯誤迅速正确。

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

(1) 注意成果不受污染，不使紙角折坏；

(2) 計算过程有錯誤时，应以小刀輕輕刮去，或用紅笔划去，重新写上正确数字；或用貼补的办法。一般不允許将計算成果重新誊写一遍，如不得已需要誊写时，必須再三校对。禁止任意乱涂乱改；

(3) 书写数字时須使同一数值中的各数位与另一数值中相应数位对齐；

(4) 由多位数字組成的数值，应适当留出間隔，如写七位对数时应写成 4.378 5462；

(5) 应經常想到，自己的計算成果不但要自己看得懂，并且要让別人看得懂，所以在适当的地方要加必要的附注，如：何人于何时进行計算的；起算数据于何处抄得……等。因为不作适当的附注与說明，則目前认为明确的东西，經過一段時間以后，会浪費很多時間理解与証明自己計算的准确性，而別人在利用这些資料时将浪費更多的時間进行分析；

(6) 設計和使用計算表格时，必須考虑装訂，特別使用正反两面都可利用的計算表格，应先在装訂位置留在左边的一面进行計算，然后再使用它的反面；

(7) 对各项中誤差的計算必須齐全，以便对成果质量作出恰当的評價。

7. 經過一个阶段的工作应及时总结，以吸取工作中的教訓，积累經驗提高計算技术。

## § 1—6 計算資料的整理与装訂

計算结束后，应对計算資料进行整理和装訂，以便于归档保管。这些計算資料不仅要完整无缺，而且应力求美观、整齐，装訂成册。

計算資料按每一测区、每一单項工程、每一工作种类分別装訂，每一测区的資料一般应包括如下内容：

- 一、各級控制测量的水平角（方向）觀測手簿。
- 二、基綫测量手簿及其附属資料（如軸杆头水准测量等）。
- 三、基綫测量計算資料。
- 四、各級控制测量的概算及平差計算。
- 五、各級水准测量的觀測手簿。
- 六、各級水准测量的計算和平差。
- 七、各級控制点成果表。
- 八、各种輔助和补充計算資料。

除外业手簿和成果表外，每种平差計算資料可分成厚度大致相同的几册，每册都应有一个封面，其封面要写明如下内容：

1. 資料名称；
2. 所属地区名称；
3. 进行工作的年度。

每册应編有目录，以示該册所包括的內容及进行該項計算的頁数。为了便于以后利用，目录之后应附計算說明，計算說明必須簡單明了而又說明問題，其內容包括：

- (1) 起算数据的来源、等級、精度及一般情况簡介；
- (2) 工作进行時間，采用的方法（包括内外业）；
- (3) 依据的技术标准；
- (4) 平差計算方法，特別是新的計算方法，应在說明中附帶注明刊载此种新方法的刊物名称和期数；
- (5) 工作质量的簡單評价（三角网中的測角中誤差、最大三角形閉合差、最弱边相对誤差…等以及水准网中每公里系統中誤差、偶然中誤差……等等），特別对外业觀測成果中的质量事故采取的技术措施，应在說明中詳細交待；
- (6) 注出計算資料之間的相互关系。

資料的裝訂以計算的程序編排，即按概算、平差、最終成果計算的次序，但在目录之后、概算之前最好附有成果表和控制网略图，以便于利用。如計算是由两人进行对算，可以分为正付本分別裝訂。

#### 本章主要参考文献

- 〔1〕 格拉西莫夫：实用二、三、四等三角測量計算手册，1957年，測繪出版社。
- 〔2〕 武汉測繪学院最小二乘法教研組編：最小二乘法，1961年，中国工业出版社。

## 第二章 方位角和基綫測量的計算

### § 2—1 概 述

工程測量控制網所用的坐標及高程系統，一般應與國家網或附近的城巿系統取得一致，因此凡是國家控制網到達的地區，工程測量的首級控制必須與國家控制進行聯繫。但是，國家控制網的精度有時滿足不了工程測量小面積大比例尺的測圖需要，或者在國家控制網尚未到達的地區進行工程測量時，可先布設各種形式的獨立控制網，作為工程測量的首級控制。

在國家控制網精度上滿足不了大比例尺測圖的地區，獨立的控制網可利用國家控制網一點的坐標和一邊的坐標方位角作為起算數據，此外自行精密地丈量基綫作為長度的依據，在附近沒有國家或城巿的高級點可以利用時，則須假設坐標原點、丈量基綫和測定真北方位，作為控制網的起算依據。

在長達幾十以至幾百公里的各種綫路測量中，亦需要於兩端或每隔一定距離處測定天文方位角，以校核方向（但一般不作為平差條件）。

由於工程測量的特點是小面積大比例尺測圖，對於真北方位的精度要求並不太高，故本章介紹的方法是基於方位角平均值中誤差 $10'' \sim 1'$ 的基礎提出的。

### § 2—2 時的概念

地球上觀測天體的位置隨時刻而變，所以觀測的時候，除了觀測天體的空間位置之外，尚需觀測“時”才可以解決天文測量的問題。

時的意義，可分為時間和時刻兩種。時間是指時的一段間隔，如說這次觀測歷時三小時。時刻是指某一瞬間時的位置，如說我們應在今晚7時30分開始觀測，兩者絕不能混淆。

宇宙間最自然的時間單位，就是地球自轉一周的時間，稱之為一日，一日的 $1/24$ 為一小時，一小時的 $1/60$ 為一分，一分的 $1/60$ 為一秒。但因地球與太陽等恆星間有不同的關係，因此根據太陽和恆星就得到了兩種不同的時間單位。

**一、恆星時。**恆星（以春分點統一代替）連續兩次經過上中天的間隔稱為一恆星日，其 $1/24$ 為一恆星時，一時的 $1/60$ 為一分，一分的 $1/60$ 為一秒。恆星時的含意可以用圖表示，如圖（2—1）中， $M$ 代表觀測者子午圈與赤道的交點，則 $\angle VM$ 即為觀測者的地方恆星時，以 $S$ 表示，亦即 $V$ 的時角（ $V$ 代表春分點）。 $\alpha$ 為天體的赤經， $t$ 為該天體的時角，由此可算出該瞬間觀測地點的地方恆星時。

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

**二、平太陽時。**視太陽連續兩次經過下中天的時間間隔稱一視太陽日。因地球繞日運行的速度不一，故視太陽日之時間長短不等，不能作為單位。天文學界就取太陽一周年的時間，以其全年視太陽日數平均之，稱一平太陽日，其 $1/24$ 稱一平太陽時，一時的 $1/60$ 為一分，一分的 $1/60$ 為一秒。平太陽時的圖示如圖（2—2），圖中 $MM'$ 為觀測者的子午圈與赤