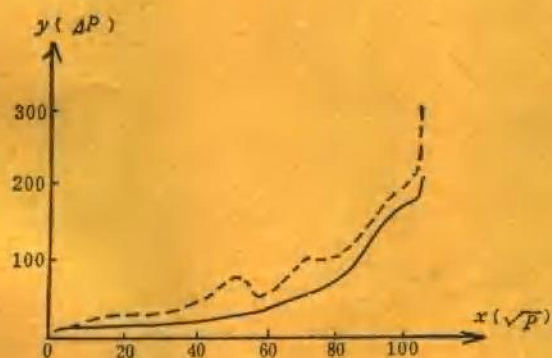


地形、地籍测量精度

宫同森 编



测绘出版社

地形、地籍測量精度

宮同森 編

測 繪 出 版 社

(京)新登字 065 号

内 容 简 介

本书共五章。分别从地形测量和地籍测量的观测值精度，平面控制点精度，高程控制测量精度，地形原图精度和地籍测量精度五个方面，在进行理论分析和实验数据统计分析的基础上，提出了一些改进和提高测量精度的新的作业方法和估算方法。

本书可用作航测、工测和地籍测量专业的教材，同时也可供广大测绘工作者参考使用。

地形、地籍测量精度

官同森 编

*

测绘出版社出版·发行

北京大兴星海印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所经销

*

开本 787×1092 1/32·印张 6.5·字数 140 千字

1992 年 8 月第一版·1992 年 8 月第一次印刷

印数 0 001—6 000 册·定价 5.20 元

ISBN 7-5030-0522-X/P·197

前 言

本书是为当前广大测绘工作者对研究地形测量和地籍测量成果精度的实际需要而编写的。本书可用作航测、工测和地籍测量专业的教学参考书。

全书共五章。分别从地形测量和地籍测量的观测值精度，平面控制点精度，高程控制测量精度，地形原图精度和地籍测量精度五个方面，在进行理论分析并与实验数据相互印证的基础上，提出了改进和提高测量精度的一些新的作业方法和估算方法，为改进和提高本学科的基本理论和开拓创新打下一定基础。

书中有选择地介绍了近年来国内外在地形测量和地籍测量精度方面的科研成果，有些数据是我们大量试验的结果。书中插图由王林英清绘，在编写过程中受到了杨定国教授的指导和徐育康、郝向阳等同志的帮助，最后由杨定国教授作了全面审定，在此表示衷心感谢。

由于时间仓促，错漏之处在所难免，望读者批评指正。

编 者

1991年8月26日

目 录

绪 论	(1)
第一章 观测值精度	(2)
§ 1-1 概述	(2)
§ 1-2 水平角观测值精度	(4)
§ 1-3 垂直角观测值精度	(13)
§ 1-4 普通视距测量精度	(19)
§ 1-5 全站型电子速测仪观测值精度	(30)
第二章 平面控制点精度	(40)
§ 2-1 概述	(40)
§ 2-2 经纬仪导线的精度	(44)
§ 2-3 测角交会的精度	(55)
§ 2-4 交会法的精度比较与发展次数	(71)
§ 2-5 三角锁、网的精度	(78)
第三章 高程控制测量精度	(92)
§ 3-1 水准测量观测值精度	(92)
§ 3-2 水准点的精度	(100)
§ 3-3 电磁波测距三角高程精度	(107)
§ 3-4 三角高程测量精度	(112)
第四章 地形原图的精度	(131)
§ 4-1 概述	(131)
§ 4-2 大比例尺地形图的精度标准及 检测方法.....	(136)

§ 4-3	野外采样大比例尺数字测图精度	(150)
§ 4-4	地形原图质量的综合评判	(156)
第五章	地籍测量精度	(164)
§ 5-1	概述	(164)
§ 5-2	地籍测量中首级控制等级的确定原则	(165)
§ 5-3	地籍测量中 EDM 导线长度探讨	(170)
§ 5-4	综合采样数字地籍图的精度	(175)
§ 5-5	图斑面积量算的精度	(179)

绪 论

研究地形测量和地籍测量成果精度的目的，在于深刻了解各测量元素及其函数的质量和置信度，以便采用恰当的仪器和方法获得最可靠的结果。对于作业人员，通过学习和探讨成果精度可进一步认识作业过程规定的必要性，了解作业规范的理论基础及其合理性，从而提高执行规范的自觉性。对于工程师，熟悉有关精度标准可获得指导作业和进行规划设计的主动权。对于教学和科研人员，掌握地形测量和地籍测量规律可为改进和提高本学科的基本理论和开拓新领域打下基础。

研究测量成果精度的基本理论依据是最小二乘法。研究测量精度的基本途径是根据作业过程，按照误差传播理论推求理论估算值，用以评定成果质量，同时根据作业实践中所获得的大量数据，经过统计分析确定各种测量元素的精度。

控制测量精度、地形图精度和地籍测量精度，今后的研究方向大体上可归纳为：（1）适用于地形测量、工程测量、航测外业和地籍控制测量的新方法、新手段的探讨；（2）现代技术在地形测量中的应用和开发，如计算机，传感器等；（3）野外测量仪器的改进和创新，如数字坐标仪，惯性定位系统等；（4）大比例尺数字地形测图、数字地籍测量及其数据库的研究；（5）向更广阔的实用领域渗透。

总之，通过对本课程的学习，可以为今后进一步提高专业理论水平和开拓创新，为在实际工作中提高分析问题和解决问题的能力，打下一个初步的基础。

第一章 观测值精度

§ 1-1 概 述

控制点 P 的平面位置 x_P 、 y_P 和高程 H_P 一般不是直接测定的，而是一系列野外观测值，如 α 、 β 、 s 、 h 的函数，平面位置的精度通常用下式表示：

$$m_P^2 = m_x^2 + m_y^2,$$

高程精度用 m_H 表示。要讨论 m_P 、 m_H ，就必须首先讨论垂直角 α 、水平角 β 、边长 s 和高差 h 的中误差。因此说，研究控制测量观测值精度，是进一步研究控制点精度和地形原图、地籍原图精度的基础。其目的为

- (1) 正确评定观测值的质量；
- (2) 明确规范限差的理论依据和合理性；
- (3) 恰当选择控制测量的方法和仪器；
- (4) 为估算观测值函数的精度提供验前方差。

实践证明，在测量中不管仪器多么精密，操作技术多么熟练和精细，其观测结果总是不可避免地含有误差。由于观测值是通过观测者的感官，依靠一定的仪器和工具在一定的自然条件下去认识被观测量的，因此，产生观测值误差的主要原因不外乎来自以下三个方面：

(1) 观测者感觉器官的局限性，产生照准误差、读数误差。这主要是指人眼的分辨能力及头脑的判断能力有限，从而对观测目标的照准、读数产生误差；此外还有接触

器官的敏感程度有限，在微旋、气泡居中等微调中不够严密等。

(2) 测量工具本身精确程度的局限性，产生仪器误差。主要由于受制造工艺水平的限制，存在仪器轴系套合公差等给观测结果带来误差影响。

(3) 外界条件的影响，产生外界误差。观测时的外界条件如日照、温度、湿度、风向、风力、地面覆盖、折光等，都是随时间、地点的不同而变化的，甚至地球的重力异常或磁场变化等均对某些观测结果产生影响。

由于测量误差是不可避免的，故在测量工作中应实时地采取各种方法来消除或减少这些误差对观测结果的影响，以提高观测值的精度。因此，只有了解这些误差的特性及其规律，才有可能按其性质进行分类和处理。

观测误差按其性质一般可分为粗差、系统误差和偶然误差三类。由于作业人员粗心大意而造成的差错叫作**粗差**。由测量条件中某些特定因素的系统性影响而产生的误差称为**系统误差**。该误差在数值和符号上或者保持为常值，或者按照一定的规律变化。由于系统误差存在规律性，故可在作业中采取适当措施予以消除或减弱。由测量条件中各种随机因素的偶然性影响而产生的误差称为**偶然误差**。偶然误差的出现，就单个而言无论数值和符号都无规律性，而对于误差的总体却存在一定的统计规律，偶然误差的出现大都服从正态分布，其均值随观测次数的大量增加而趋近于零。

测量过程中的系统误差和偶然误差常常是同时发生的，但在平差之前总是将系统误差尽可能消除或减弱至最小。所以在讨论观测值精度问题时主要是研究偶然误差的影响。

在精度讨论中，通常用中误差 m 这一精度指标来衡量一

系列观测值的精度。若知被观测量的真值为 X ，而观测值为 x_i ($i=1, 2, \dots, n$)，则每一观测值的“真误差”为 d_i ，根据误差理论可按下式估计

$$\left. \begin{aligned} d_i &= X - x_i \\ m &= \pm \sqrt{\frac{[dd]}{n}} \quad (n \text{ 为 } d \text{ 的个数}) \end{aligned} \right\} \quad (1-1)$$

一般来说，被观测量的真值是不可知的，因此一般不用上式。如果一组观测结果比较可靠，则可以认为其算术平均值是最或然值，用 $\bar{X}$ 表示，则每一观测值有最或然误差 v_i ，其精度估算公式为

$$\left. \begin{aligned} v_i &= \bar{X} - x_i \\ m &= \pm \sqrt{\frac{[vv]}{n-1}} \end{aligned} \right\} \quad (1-2)$$

本章主要讨论控制测量观测值偶然误差的规律，评定观测值的质量，分析和讨论各种观测结果的限差，探讨合理的观测方法，同时也为估算观测值函数的精度提供合理可靠的数据。

§ 1-2 水平角观测值精度

在控制测量中，水平角通常是采用方向观测法测得的，方向值应是最基本的独立观测量，而水平角则是两方向值的函数。研究水平角观测值精度通常有两种方法：一是根据大量实际数据进行统计分析；另一是根据误差来源进行理论探讨。

一、水平角观测值精度统计

水平角观测值的精度通常用测角中误差来衡量。如果有

大量的观测数据, 则可根据其具体的观测条件, 按照误差传播定律来求得测角中误差。

(一) 按三角形闭合差计算测角中误差 m_{β_1}

设三角形三内角的观测值分别为 A 、 B 、 C , 其闭合差为

$$w = A + B + C - 180^\circ$$

依误差传播定律, 由于 A 、 B 、 C 为等精度观测, 故可取

$$m_A = m_B = m_C = m_{\beta_1}$$

故

$$m_w^2 = m_A^2 + m_B^2 + m_C^2 = 3m_{\beta_1}^2$$

$$m_{\beta_1} = \frac{m_w}{\sqrt{3}}$$

因三角形三内角之和的真值为 180° , 故三角形角度闭合差的中误差应为

$$m_w = \pm \sqrt{\frac{[ww]}{n}}$$

$$\therefore m_{\beta_1} = \pm \sqrt{\frac{[ww]}{3n}} \quad (1-3)$$

上式即为按三角形闭合差计算测角中误差的公式, 也叫菲列罗公式, 其中 n 为三角形个数。

例: 某测区用 J6 经纬仪观测了 290 个三角形, 其三角形闭合差的平方和为 $[ww] = 99870$, 由式 (1-3) 可算得

$$m_{\beta_1} = \pm \sqrt{\frac{99870}{3 \times 290}} = \pm 10.7''$$

(二) 按测回较差计算测角中误差 m_{β_2}

在地形控制测量中, 水平角通常是采用两测回方向观测

法测定的，故也可用同一方向两个测回方向值的较差来统计测角中误差。

设同一方向的一、二两个测回的方向值为 l_1 、 l_2 ，其较差为 $d = l_2 - l_1$ 。因为每一测回的方向值是等精度的独立观测，故其中误差相等，即

$$m_{l_1} = m_{l_2} = m_l$$

故

$$m_d = \sqrt{2} m_l$$

方向值 l_1 、 l_2 也可看成是一、二两个测回同一方向与起始方向（又称零方向）间的水平角。而实际作业中是取两测回的平均值，即任意方向与起始方向间的水平角为

$$\beta_2 = \frac{1}{2}(l_1 + l_2)$$

故

$$m_{\beta_2} = \frac{1}{\sqrt{2}} m_l$$

因测回较差的真值为零，故其中误差为

$$m_d = \pm \sqrt{\frac{[dd]}{n}} \quad (n \text{ 为较差 } d \text{ 的个数})$$

由此可得：

$$m_{\beta_2} = \frac{1}{\sqrt{2}} m_l = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} m_d = \pm \frac{1}{2} \sqrt{\frac{[dd]}{n}}$$

故

$$m_{\beta_2} = \pm \sqrt{\frac{[dd]}{4n}} \quad (1-4)$$

上式就是根据同一方向两测回方向值较差计算测角中误差的公式。

例：某测区用 J6 型经纬仪按两测回进行水平角观测，其两测回方向值较差 d 的数据如表 1-1 所示。

表 1-1

$d(^{\circ})$	0	3	5	7	9	12	15	19	22	25
个数 n	35	30	25	20	9	7	5	3	2	1

依式 (1-4) 算得测角中误差为

$$m_{\beta_2} = \pm \sqrt{\frac{[dd]}{4n}} = \pm \sqrt{\frac{7413}{4 \times 137}} = \pm 3.7''$$

从上述两种统计结果比较来看，由式 (1-3) 统计的结果比较符合实际，能较全面地反映各种误差影响；而按式 (1-4) 统计的结果往往偏小，因为它没有反映测站偏心、照准偏心和外界条件变化等因素对测角的影响。实验结果表明， m_{β_1} 大约是 m_{β_2} 的 2-3 倍。但是在实际作业中，同精度观测的三角形闭合差的个数是不太多的，若 n 过小则按式 (1-3) 算得的结果也不甚可靠，故通常要求 $n > 25$ ；而在同一观测条件下的测回较差的个数则是比较多的，统计起来也比较方便，但要注意估算的精度一般偏小。

二、按误差传播理论分析

从最基本的观测动作（照准读数）和其它实际情况来看，水平角观测值的基本误差来源有 6 个，通过对每个误差可能的大小来分析，可以给出一个比较接近的数值；通过地形控制测量两测回的操作步骤，便可推算出两测回平均方向值的测角中误差。

(一) 误差来源及大小

1. 照准误差 m_1

在水平角观测中，影响照准精度的因素很多，如人眼的生理条件，望远镜的鉴别力，观测目标的形状、背景和亮度

等。但一般认为人眼的鉴别力和望远镜的放大倍率是影响照准精度的主要因素，其关系式为

$$m_s = \pm \frac{60''}{v} \quad (1-5)$$

式中， $60''$ 为一般人的眼睛鉴别角， v 为望远镜的放大倍率，J6级经纬仪通常取 $v=25$ 倍，故

$$m_s = \pm \frac{60''}{25} = \pm 2.4''$$

2. 读数误差 m_r

读数误差主要取决于仪器读数系统的结构，一般以最小估读数作为读数误差。如J6经纬仪取

$$m_r = \pm 6''$$

3. 仪器误差 m_i

仪器误差大致可以分为这样几部分：一部分是可以盘左、盘右的观测方法消除的，如视准轴误差、水平轴误差和照准部偏心等；另一部分是虽不能通过盘左、盘右的观测方法消除，但通过仪器检校可使误差尽量减小，如垂直轴误差等；还有一部分是可以通过适当的操作方法使之尽量减小的，如照准部旋转的隙动、度盘带动和度盘分划误差等。当然，仪器愈精密，残存的仪器误差愈小。据经验得知，J6级经纬仪一测回一个方向的仪器误差约为

$$m_i = \pm 3''$$

4. 外界影响误差 m_e

外界影响误差主要是指外界条件的变化对水平角观测方向的影响。如风力过大会使仪器产生跳动，从而照准和读数均不易准确；温度变化特别是太阳光直接曝晒时，可能使脚架产生扭曲，使仪器照准轴发生变化；地面辐射热引起空气

对流，使目标影像变得模糊甚至产生漂移，尤以晴天中午为甚；城市上空大量的烟尘，湖泊、水库和沼泽地带上空大量的水蒸气，都将降低空气的透明度，从而影响目标清晰和照准；空气受热（如高大建筑物的辐射热）不均匀产生的旁折光，使视线产生水平方向的偏转，等等。总之，外界条件的影响是很复杂的，但大多与观测时间有关，故作高精度的水平角观测时，应选择在最佳时刻进行，如夜间，而白天则应避免在日出后和日落前一小时以及中午时刻进行水平角观测。

外界条件的影响明显地反映在三角形闭合差中，但对于J6级经纬仪来说，因其最小估读数已达 $6''$ ，故对外界条件无需提出过高的要求，而据实验估算其对方向值的影响约为

$$m_o = \pm 3''$$

5. 测站偏心影响 m_o

所谓测站偏心影响，是指仪器对中误差在规定限差以内时，由于未加测站归心改正而引起的观测方向的偏差。在地形控制中，大比例尺和中、小比例尺分别规定对中误差的相对误差为 $\frac{1}{D} \leq 1/40000$ 和 $\frac{1}{D} \leq 1/20000$ ，而相应的中误差角值分别为

$$m_{o,大} = \pm \frac{206265''}{40000} = \pm 5.2'';$$

$$m_{o,小} = \pm \frac{206265''}{20000} = \pm 10.3''$$

6. 目标偏心影响 m_t

同样，所谓目标偏心影响也是指未经照准点偏心改正的目标偏心对观测方向的影响。其性质与测站偏心影响相同，

一般亦可取

$$m_{i,大} = \pm 5.2''; m_{i,小} = \pm 10.3''$$

(二) 方向观测法一方向的观测中误差

1. 半测回方向中误差 m_i

现从两种情况来讨论半测回方向中误差。若不考虑测站偏心和照准偏心的影响, 则半测回方向值主要受前 4 种误差的影响, 故半测回方向中误差为

$$m_i = \pm \sqrt{m_{\beta}^2 + m_{\alpha}^2 + m_{\gamma}^2 + m_{\delta}^2} \quad (1-6)$$

以相应的估算值代入, 则有

$$m_i = \pm \sqrt{2.4^2 + 6.0^2 + 3.0^2 + 3.0^2} = \pm 7.7''$$

若考虑测站偏心和照准偏心的影响, 则共有 6 个误差来源, 故半测回方向中误差为

$$m'_i = \pm \sqrt{m_{\beta}^2 + m_{\alpha}^2 + m_{\gamma}^2 + m_{\delta}^2 + m_{\epsilon}^2 + m_{\zeta}^2} \quad (1-7)$$

同样以相应的估值代入, 则

$$m'_i = \pm 10.7''$$

2. 两测回水平角中误差 m_{β}

研究水平角误差时应当考虑各种偏心的影响, 故两测回方向平均值的中误差应为

$$m_{i,平} = \frac{1}{\sqrt{2} \cdot \sqrt{2}} \cdot m'_i$$

而水平角是由两方向值之差求得的, 故两测回水平角测角中误差为

$$\begin{aligned} m_{\beta} &= \sqrt{2} \cdot m_{i,平} = \frac{1}{\sqrt{2}} m'_i \\ &= \pm \frac{10.7''}{\sqrt{2}} = \pm 7.6'' \approx \pm 8'' \end{aligned} \quad (1-8)$$

故通常认为 J6 级经纬仪两测回水平角中误差为 $\pm 8''$ 左

右。

为了便于分析比较，现将上述理论估算结果归纳于表1-2。

表 1-2

特 点		误 差 来 源						
		m_s	m_r	m_i	m_o	m_o	m_i	m_l
不含 偏 心		±2.4	± 6	± 3	± 3			±7.7
含 偏 心	大比例尺	±2.4	± 6	± 3	± 3	±5.2	±5.2	±10.7
	中小比例尺	±2.4	± 6	± 3	± 3	±10.3	±10.3	±16.5

特 点		$m_{\beta\pm}=\sqrt{2}m_i$	$m_{\beta\text{测}}=m_i$	$m_{\beta}=\frac{m_i}{\sqrt{2}}$	m_{β} 统计	m_{β} 取用
不含 偏 心		±10.9	±7.7	±5.4	±3.7	
含 偏 心	大比例尺	±15.1	±10.7	±7.6		± 8
	中小比例尺	±23.3	±16.5	±11.7	±10.7	±10

单位：秒

从表 1-2 可以看出，理论分析与统计结果比较接近。

三、水平角观测限差的分析

在地形控制测量中，对水平角观测通常有半测回归零差的限差规定，同一方向值各测回较差的限差规定和三角形闭合差的限差规定。现分述如下。

(一) 半测回归零差的限差 Δ_0

在半测回中对原方向进行归零观测时，则两个原方向值之差称为归零差。若两次照准原方向的读数为 l_0 和 l'_0 ，则