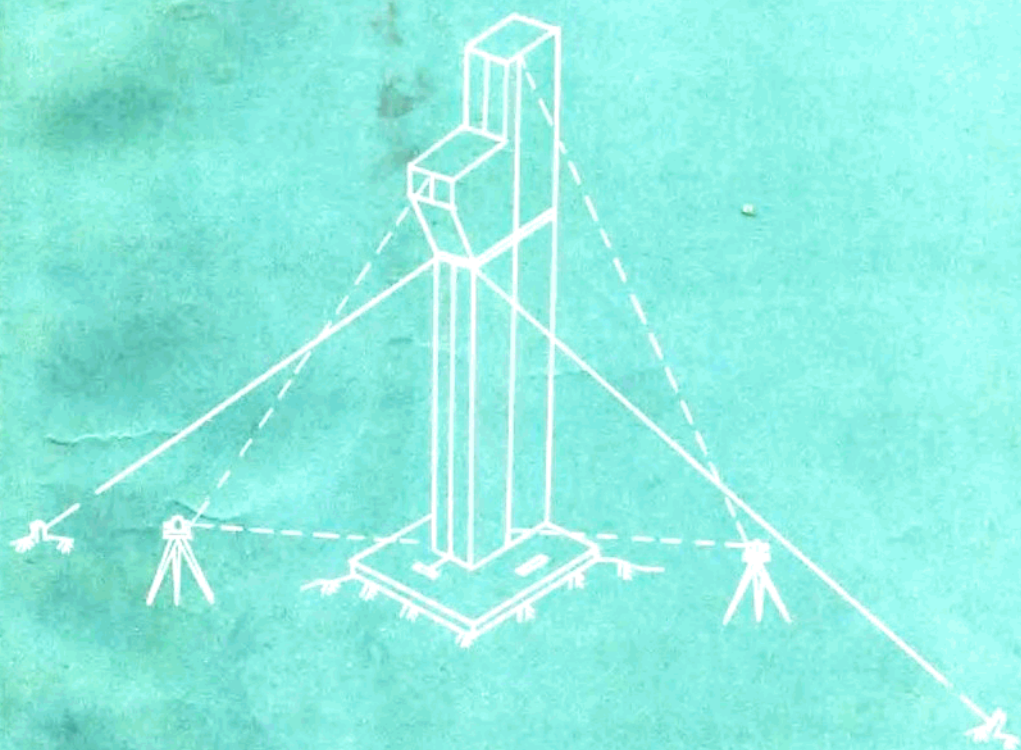


中等专业学校试用教材

GONGCHENG CELIANG



工程测量

李成德 邵尚修 编

测绘出版社

内 容 提 要

本书是中等测绘专科学校工程测量专业的教材。

全书共分为十章。内容包括：放样的基本方法、施工控制网测设、民用与工业建筑施工测量、厂区现状图测量及变形观测、地质勘探测量、铁路及公路测量、地下坑道测量等。

中等专业学校教材

工 程 测 量

季斌德 邵自修 编

*

测绘出版社出版

测绘出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

*

开本 787×1092 1/16 · 印张 29 · 插页 1 · 字数 659 千字

1988 年 6 月第一版 · 1988 年 6 月第一次印刷

印数 1—6,000 册 · 定价 4.25 元

ISBN 7-5030-0075-9/P·22

统一书号：15039·新 524

前 言

为适应冶金工业建设的需要,按照工程测量专业“工程测量”教学大纲的要求,编写本教材作为中等测绘专业的教科书。

在编写本书之前,编者曾到一些施工现场和生产单位学习、考查和搜集资料。在编写过程中又参考了兄弟院校的有关教材。

本书根据冶金工程测量的服务对象,其内容分为:工业与民用建筑测量、地质勘探工程测量、铁路、公路测量和地下工程测量。书中强调工程测量的基本理论、基本知识和基本操作方法,注重总结本国经验,适当介绍测量新技术。

本书的编写力求理论联系实际,文字通俗易懂,便于自学。初稿形成后,又经三次循环教学试用,作了反复修改。

本课程是在工程测量专业二年级开设的。学习本课程之前,已经学过测量学和测量平差。因此,本书不包括工程勘察阶段的测量工作,重点讲述施工测量。

本书第一章、第三章、第四章和第十章由季斌德同志编写,绪论、第二章、第五章至第九章由邵自修同志编写,测绘教材委员会审定。丁窑桐、李裕忠、王光遐、彭先进等同志在审稿中提出了许多宝贵意见和建议,刘艳春、王延亮、马俊海、孙育华等同志参加了绘图工作,在此谨向他们表示衷心谢意。

由于编者水平有限,书中难免有缺点错误,恳切希望读者批评指正。

编者

一九八六年十一月

目 录

结 论	(1)
第一章 工程放样的基本方法	(4)
§ 1-1 角度放样方法	(4)
§ 1-2 角度放样精度	(5)
§ 1-3 长度放样方法	(16)
§ 1-4 长度放样精度	(18)
§ 1-5 点位放样方法	(23)
§ 1-6 误差椭圆	(30)
§ 1-7 误差椭圆在点位放样中的应用	(39)
§ 1-8 高程放样方法	(50)
§ 1-9 高程放样精度	(53)
§ 1-10 激光在放样中的应用	(57)
第二章 工业建筑场地控制测量	(69)
§ 2-1 施工控制网的布设	(69)
§ 2-2 施工控制网的精度要求	(70)
§ 2-3 厂区建筑方格网的布设方案与设计	(72)
§ 2-4 厂区建筑方格网主轴线的放样	(74)
§ 2-5 I 级方格网的放样	(78)
§ 2-6 方格网的加密	(79)
§ 2-7 建筑方格网的严密平差	(80)
§ 2-8 建筑方格网的近似平差	(98)
§ 2-9 建筑方格网的规划和改正	(114)
§ 2-10 高程控制网的布设	(115)
第三章 民用建筑与工业建筑的施工测量	(117)
§ 3-1 民用建筑的放样	(117)
§ 3-2 高层建筑物的施工测量	(123)
§ 3-3 工业厂房的放样	(127)
§ 3-4 厂房基础的施工放样	(136)
§ 3-5 工业厂房结构的安装测量	(142)
§ 3-6 机械设备的安装测量	(146)
§ 3-7 管道工程的施工测量	(153)
第四章 厂区现状图测量及建筑物的变形观测	(167)

§ 4-1	厂区现状图测量	(167)
§ 4-2	建筑物的变形观测	(173)
§ 4-3	建筑物的沉降和水平位移观测	(175)
§ 4-4	建筑物的倾斜、挠曲、裂缝及变形观测	(194)
第五章	地质勘探工程测量	(203)
§ 5-1	地质勘探的基本知识	(203)
§ 5-2	勘探工程测量的任务	(203)
§ 5-3	勘探矿区的控制测量和地形测量	(204)
§ 5-4	勘探网及其设计	(204)
§ 5-5	勘探网的布设	(207)
§ 5-6	地质点测量	(209)
§ 5-7	探槽、浅井位置的初测和定测	(209)
§ 5-8	钻孔位置的测设	(211)
§ 5-9	勘探线剖面测量	(214)
§ 5-10	坑道探矿测量	(225)
第六章	物(化)探测量	(226)
§ 6-1	物探测量概述	(226)
§ 6-2	物探测量设计	(227)
§ 6-3	测网起始点及基线方向的布设	(231)
§ 6-4	基线的布设	(232)
§ 6-5	测线的布设	(238)
第七章	铁路及公路测量	(243)
§ 7-1	概述	(243)
§ 7-2	铁路线路勘测设计的一般概念	(245)
§ 7-3	铁路线路的初测	(245)
§ 7-4	铁路平面设计及纵断面设计的一般概念	(245)
§ 7-5	铁路线路的定测	(254)
§ 7-6	纵断面图的绘制	(260)
§ 7-7	横断面测量与横断面图的绘制	(264)
§ 7-8	路基土方量的计算	(267)
§ 7-9	公路线路的勘测	(275)
第八章	曲线放样	(277)
§ 8-1	概述	(277)
§ 8-2	圆曲线元素的计算及主点放样	(278)
§ 8-3	圆曲线的直角坐标法放样	(282)
§ 8-4	圆曲线的偏角法放样	(288)
§ 8-5	圆曲线的弦线偏距法放样	(295)

§ 8-6	圆曲线放样的特殊问题	(296)
§ 8-7	缓和曲线	(299)
§ 8-8	综合曲线元素的计算及主点放样	(301)
§ 8-9	综合曲线的直角坐标法放样	(306)
§ 8-10	综合曲线的偏角法放样	(309)
§ 8-11	仪器在缓和曲线任意点的偏角法放样	(312)
§ 8-12	回头曲线的放样	(314)
§ 8-13	复曲线的放样	(317)
§ 8-14	竖曲线的放样	(319)
第九章	铁路与公路施工测量	(328)
§ 9-1	铁路中心线的复测	(328)
§ 9-2	路基施工测量	(328)
§ 9-3	铺设铁路上部建筑物时的测量	(332)
§ 9-4	铁路连接线的放样	(333)
§ 9-5	公路施工测量	(337)
第十章	地下坑道测量	(340)
§ 10-1	概述	(340)
§ 10-2	建井时期的测量工作简介	(344)
§ 10-3	竖井施工测量	(347)
§ 10-4	斜井及平峒的施工测量	(356)
§ 10-5	平面联系测量的概念	(359)
§ 10-6	一井定向——联系三角形法	(368)
§ 10-7	两井定向	(378)
§ 10-8	陀螺经纬仪定向的原理	(387)
§ 10-9	陀螺经纬仪的构造和使用方法	(394)
§ 10-10	高程联系测量	(405)
§ 10-11	地下平面控制测量	(408)
§ 10-12	地下高程控制测量	(420)
§ 10-13	坑道掘进时的测量工作	(425)
§ 10-14	一井间巷道贯通测量及误差预计	(435)
§ 10-15	两井间巷道贯通测量及误差预计	(443)
§ 10-16	竖井贯通测量及误差预计	(450)
§ 10-17	误差预计中基本误差参数的确定及贯通后实际偏差的测定	(453)

绪 论

在工程建设的勘察设计、施工和运营阶段所进行的各种测量工作，统称工程测量。

工程测量涉及到国民经济各个部门，内容极为广泛。按测量工作的对象分包括工业与民用建筑、水利、铁路、公路、桥梁、隧道、矿山、地下工程、地质勘探和物化探等工程测量。按工程建设的顺序分，包括：勘察设计阶段的测量工作，主要是根据工程建设的需要，布设测图控制网，测绘所需不同比例尺地形图。在工程施工阶段，主要是建立施工控制网，进行建（构）筑物的各种放样。工程竣工后还需进行竣工测量。运营阶段的测量工作，主要是对建（构）筑物 and 大型设备基础进行沉降、平面位移和倾斜观测，向有关部门提供变形观测资料。以便根据这些资料分析建（构）筑物结构受力的状态，研究维护建（构）筑物安全的方法，提出加固建筑物的措施，同时用观测的资料验证设计的理论，改进设计的方法。

工程测量主要是应用大地测量和摄影测量的仪器、工具、方法以及计算和平差理论，解决工程建设中测量问题的一门应用科学。因此，它与其他测量学科的关系非常密切。工程测量的显著特点是，与工程的设计、施工联系紧密。工程测量的程序，从属于工程施工的程序。工程测量的精度要求与工程的性质和施工方法直接有关。因此，工程测量工作者还必须学习工程设计和工程施工方面的有关知识，例如应该具有读图、识图和校核图纸的能力等。这一点，对工程测量工作者来说是不可缺少的。工程测量在一定意义上讲是测量和工程施工相结合的学科。只有测量的理论而没有工程建设的实际知识，工程测量工作是很难胜任的。

近年来，工程测量领域的技术发展日新月异。例如，对于地形图的测绘，国外已采用正射投影的方法印制正射象片图，然后将正射象片的信息输入到一种数字测图编码仪中，在仪器的输出端即可得出点的数字坐标与编码资料，在电子计算机的配合下，绘制各种比例尺的象片图。

除了航摄方法外，一些国家还研制了惯性测量系统。把这种仪器安装在车辆或飞机上，由一个已知坐标点出发，可以随时显示出其所在位置的三维坐标。电子速测仪的研制成功，对小范围工程测量极为有利。用这种仪器，水平角与垂直角的观测采用编码度盘，用光电技术自动测记，并随时可以显示。距离的测定是由电磁波测距仪完成的，将观测数据输入到仪器的电算设备中，当场就可以将测定点的坐标显示出来。

在工程建筑物的施工放样方面，国际测量工作者协会（简称 FIG）第六委员会与国际建筑研究协会联合研究并提出了放样工作的国际标准的研究课题，现正在探讨研究中。

对于精密工程的施工放样，目前已采用激光技术进行精密定线，工业与民用建筑中高层建筑物和大型烟囱的施工应用激光铅垂仪可以将地面点竖直地引向不同的施工平面，从而保证建筑物的铅垂度和不同高程施工平面上中心线的投测。目前，我国许多工程建筑部

门已经广泛使用。

在长距离的地下坑道贯通测量中，为减少测角误差的积累，在地下导线的一些边上加测陀螺方位角(方位角的精度可以达到 $\pm 25''$)，可以有效地降低贯通的横向误差。

工程建筑物的变形观测，越来越受到人们的重视。为了精确地测定建筑物的沉陷和平面位移，需要建立高精度的控制网。由于电子计算技术的发展，可以使“测量方案”的设计达到最优化。非地形近景摄影测量已开始用来解决一些常规测量方法所不能解决的问题。例如，对某些研究对象，不但要确定其平面位置的变化，还要确定它在空间变化的轨迹，在这方面，非地形摄影测量是一种信息丰富、迅速和精确的测量方法。在工程的勘察设计阶段，用地面立体摄影测量方法可以测绘不同比例尺的地形图。在工程的施工阶段，利用地面立体摄影测量的方法可以检查建筑物的装配精度。在工程施工和运营阶段，用解析法精密地面立体摄影测量可进行工程建(构)筑物的变形观测。

由于冶金工业建设范围广、战线长、规模大、高大建筑(如高炉、烟囱等)和连续生产设备(如轧钢生产线)多，因而为冶金工业建设服务的测量工作的内容多，而且测量的精度要求也高。尤其现代化的施工在时间和空间上常常立体交叉进行，现场作业条件差，这又给测量工作带来不少困难。

本书在第一章里集中讲授工程建筑物放样的基本方法，首先叙述角度、长度放样的方法和精度，然后在此基础上讲述放样点位的方法和误差椭圆问题。此外本章还讨论了高程放样的方法和精度，以及激光在放样中的应用。掌握了放样的基本理论和基本方法会给以后各章的学习带来方便的。

第二章论述了工业建筑场地平面控制网的必须精度，详细地讨论了建筑方格网的设计、布设、平差计算和归化改正的方法。本章是在总结我国经验的基础上写成的，有自己的特色。对于建筑方格网的严密平差和近似平差，除理论说明外都附了算例以便于读者参考。此外还介绍了建筑场地的高程控制测量。

第三章介绍民用与工业建筑的施工测量，说明工程建筑物如何在场地控制的基础上进行细部放样。对民用建筑着重介绍一般房屋和高层建筑物的施工测量。对工业建筑物着重介绍基础、工业厂房结构和机械设备安装的施工测量以及一般的管道工程施工测量。通过上述建筑物施工测量的学习，达到掌握工程建筑物放样的一般方法的目的。

第四章的主题是：工业厂区的现状图测量和建筑物的变形观测。厂区现状图是工厂进行改建、扩建以及投产后生产管理的重要技术资料。现状图是实测的而不是编制的建筑物的沉陷、水平位移和构件变形的观测工作自工程开始施工到工程竣工乃至交付运营之后都要进行。观测的目的是：在施工期间指导施工，在运营期间监督建筑物的安全。

第五、六两章是冶金地质勘探和物化探工程测量，主要讲述勘探工程(探槽、探井、钻孔)的布设和勘探线剖面测量。物探测量主要是按一定密度标定测网、如物化探提供测量控制基础。

第七章是铁路与公路测量。在这章的编写中力求做到既了解铁路、公路勘测和设计的程序、设计的一般概念，又能掌握铁路、公路测量的方法。在讲述纵、横断面测量之后，还介绍了路基土方量的计算方法。

第八章实际上是第七章的继续，是将铁路、公路的曲线测量集中起来讲述。本章比较详细地讲述了各种曲线放样的原理和放样方法。

第九章是铁路、公路施工阶段的测量工作，主要内容是中心线复测、路基放样、铺设上部建筑物和放样铁路连接线。

第十章是地下坑道测量。它既包括坑道探矿中测量工作，也包括矿山建设中的主要测量工作。本章的重点是通过竖井进行地上与地下的联系测量。对联系测量除介绍了几何的方法以外，还介绍使用陀螺经纬仪进行地下坑道定向的方法。贯通测量一向是矿山测量中技术性较强的工作，在这里详细地讲述了贯通测量的方法和贯通误差的预计。只有掌握这些理论才能制定和审核贯通测量的技术方案，否则就不能全面地掌握这项工作。

第一章 工程放样的基本方法

为了按照设计图纸和施工要求, 正确地将各种建筑物的位置(平面及高程)在实地标定出来, 经常需要进行角度、直线长度、点位坐标及高程的放样工作。现将其基本方法介绍如下。

§ 1-1 角度放样方法

放样角度(这里指放样水平角, 也称拨角), 是在一点上设站, 以该点的某一固定方向为起始方向, 按设计转角放出另一方向。

一、直接法放样角度

欲放样水平角 β , 如图 1-1-1 所示, 实地 O 为已知点, OA 为已知方向, 需要放样出 OB 方向, 使 $\angle AOB = \beta$ 。具体步骤如下:

1. 经纬仪安置在 O 点, 对中、整平, 以盘左位置照准 A 点方向, 使水平度盘读数为零, 再顺时针旋转望远镜, 使水平度盘读数为 β 值, 指挥在该方向上于实地作出标志点 B_1 。

2. 为了消除视准轴及水平轴偏差的影响, β 角需作正、倒镜放样。用盘右位置照准 A 点, 使读数为 $180^\circ 00' 00''$, 再顺时针旋转望远镜, 使其水平度盘读数为 $180^\circ + \beta$ 值, 指挥在该方向上于实地作出标志点 B_2 , 若无偏差影响, 则 B_1 与 B_2 点应重合, 否则取 B_1B_2 点间之中点 B' , 标定于实地。对于精度要求不高的角度放样, 一般可以采用这种方法。

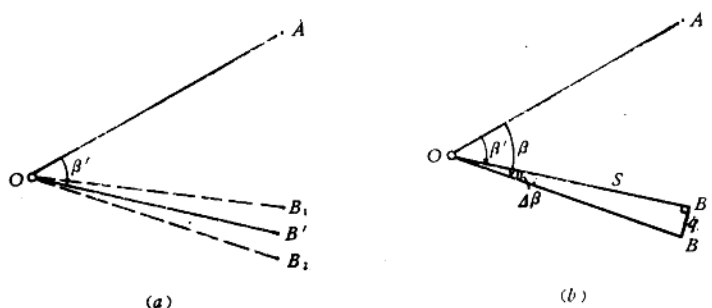


图 1-1-1

二、归化法放样角度

有时为了提高放样角度的精度, 可以采用归化的方法。即, 将上述方法直接放样的点

位作为过渡点(临时点),然后用普通测量方法施测该过渡点与已知点之间的角度,将实测值与设计值比较得出差值,再由过渡点修正这一差值,把点位归化到较精确的位置。

具体步骤如下:

1. 如图 1-1-1 所示,先用直接法放出角度 $\angle AOB'$,得 OB' 方向,定出过渡点 B' ,然后按选用的仪器和必要的测回数,精确测量 β' ,并测量 OB' 的长度 S 。

2. 计算精测角值 β' 与设计角值 β 之差,为

$$\Delta\beta = \beta - \beta' \quad (1-1-1)$$

由于 $\Delta\beta$ 值不会太大,同时考虑到仪器读数精度的限制,所以都用线量 q 改正其角值,改正值为

$$q = \frac{\Delta\beta''}{\rho''} \cdot S \quad (1-1-2)$$

式中 $\rho'' = 206265''$

3. 由过渡点 B' ,按 q 的改正方向作垂线,量 $B'B = q$,则 OB 即为所求方向。为了检核,可对 $\angle AOB$ 再次进行复测。

例:如图 1-1-2 所示,欲在 O 点放样垂直于长轴线 OM 的短轴线 ON 。仪器可设在 O 点,先用直接放样法放出 $\angle MON' \approx 90^\circ$ 得 ON' 方向,丈量 ON' , 如为 100 米, 精测 $\angle MON = \beta' = 89^\circ 59' 24''$, 算得 $\Delta\beta = 36''$

$$q = \frac{36''}{206265''} \times 100000 \text{ 毫米} = 18 \text{ 毫米}$$

此时,从 N' 点向角值增加方向作垂线,量取 $N'N = 18$ 毫米,定出 N 点即可。

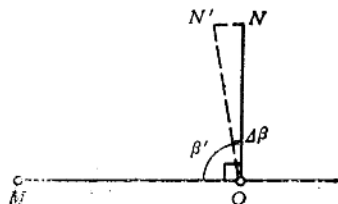


图 1-1-2

§ 1-2 角度放样精度

用归化法放样角度 β , 其误差 M 主要有两项, 一项是 β' 角的拨角误差 $m_{\beta'}$, 另一项是 β' 角修正值 $\Delta\beta$ 的误差 $m_{\Delta\beta}$, 可写成:

$$M^2 = m_{\beta'}^2 + m_{\Delta\beta}^2 \quad (1-2-1)$$

其中 $m_{\Delta\beta}$ 较小, 即 $m_{\Delta\beta} < m_{\beta'}$ 。现讨论当 $m_{\Delta\beta}$ 小至何种程度可忽略不计, 即可认为

$$M \approx m_{\beta'} \quad (1-2-2)$$

设

$$m_{\Delta\beta} = \frac{m_{\beta'}}{k} \quad (1-2-3)$$

即, 使 $m_{\Delta\beta}$ 缩小为 $m_{\beta'}$ 的 k 倍, 代入 (1-2-1) 式可写成

$$M^2 = m_{\beta'}^2 \left(1 + \frac{1}{k^2} \right)$$

或

$$M = m_{\beta'} \sqrt{1 + \frac{1}{k^2}}$$

将上式作二项式级数展开, 舍去高次项, 则

$$M = m_{\beta}' \left(1 + \frac{1}{2k^2} \right) \quad (1-2-4)$$

当式中 $\frac{1}{2k^2} = 0.1$, 改正角值的误差影响仅占放样角值总误差的 10%。现解出 k 值,

$$k \geq \sqrt{5}$$

同理, 若使 $\frac{1}{2k^2} = 0.05$, 即 $k \geq \sqrt{10}$, 则 $m_{\Delta\beta}$ 影响可略而不计, 认为 $M \approx m_{\beta}'$ 。上

述讨论说明, 舍去 $m_{\Delta\beta}$ 是有条件的。

高精度放样角度应顾及此种误差影响, 或使 $m_{\Delta\beta}$ 小到可忽略不计。此时, 则应对归化角 $\Delta\beta$ 进行误差分析。式 (1-1-2) 可写成:

$$\Delta\beta = \frac{q}{S} \rho'' \quad (1-2-5)$$

将上式进行微分得

$$\frac{d(\Delta\beta)}{\Delta\beta} = \frac{dq}{q} - \frac{dS}{S}$$

化为中误差关系式:

$$\left(\frac{m_{\Delta\beta}}{\Delta\beta} \right)^2 = \left(\frac{m_q}{q} \right)^2 + \left(\frac{m_S}{S} \right)^2 \quad (1-2-6)$$

式中 m_S ——量距误差,

m_q ——归化长度 q 的误差(线量误差),

$m_{\Delta\beta}$ ——归化角度 $\Delta\beta$ 的误差。

因为一般都按同精度丈量长度, 故可以假设:

$$\frac{m_q}{q} \approx \frac{m_S}{S} \quad (1-2-7)$$

则 (1-2-6) 式可写成

$$\frac{m_q}{q} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{m_{\Delta\beta}}{\Delta\beta} \quad (1-2-8)$$

或

$$\frac{m_S}{S} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{m_{\Delta\beta}}{\Delta\beta}$$

将 (1-2-5) 式代入 (1-2-8) 式得

$$m_q = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{m_{\Delta\beta}}{\rho''} \cdot S \quad (1-2-8')$$

如取 $m_{\Delta\beta} = \frac{m_{\beta'}}{\sqrt{10}}$, 即认为 $M \approx m_{\beta'}$, 而略去 $m_{\Delta\beta}$ 影响, 则以上两式可写成

$$\frac{m_g}{S} = \frac{1}{\sqrt{10}} \frac{m_{\beta'}}{\Delta\beta} \approx \frac{1}{3} \frac{m_{\beta'}}{\Delta\beta} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} \quad (1-2-9)$$

$$m_g = \frac{S}{\sqrt{10}} \cdot \frac{m_{\beta'}}{\rho''} \approx \frac{S}{3\sqrt{2}} \frac{m_{\beta'}}{\rho''} \quad (1-2-9')$$

从上式可看出:

(1) 归化误差 m_g 的大小与边长 S 的长度有关, S 越长, 容许 m_g 越大, 即归化容易。如果 S 很短, 又要求 $m_{\beta'}$ 很小, 则必须精确量取归化值 q , 仔细改正 B' 至 B 。由下列具体数字可以看出以上分析的正确。

例: 设测角中误差 $m_{\beta'} = \pm 6''$ 或 $\pm 3''$, $S = 200$ 米、100 米或 20 米。得 m_g 值 (见表 1-2-1)。

表 1-2-1

$m_{\beta'}$	S		
	200 米	100 米	20 米
$\pm 6''$	1.30	0.65	0.13
$\pm 3''$	0.65	0.32	0.06

注: 单位以毫米计

(2) 丈量 S 的相对误差 $\frac{m_g}{S}$ 与 $m_{\beta'}$ 成正比, 而与 $\Delta\beta$ 成反比。当要求 $m_{\beta'}$ 较小时, $\frac{m_g}{S}$ 也要求小些, 则丈量 S 应精确些; 当 $\Delta\beta$ 较小 (即过渡点设的比较精确), 则 $\frac{m_g}{S}$ 可较大, 也就是说量距相对误差可放宽。具体数字可由表 1-2-2 看出。

例: 设 $m_{\beta'} = \pm 6''$ 或 $\pm 3''$, $\Delta\beta = 10'$ 、 $1'$ 或 $10''$ 。得 $\frac{m_g}{S}$ 如下表:

表 1-2-2

$m_{\beta'}$	$\Delta\beta$		
	$10'$	$1'$	$10''$
$\pm 6''$	$\frac{1}{450}$	$\frac{1}{45}$	$\frac{1}{7}$
$\pm 3''$	$\frac{1}{890}$	$\frac{1}{89}$	$\frac{1}{14}$

按上述分析,在放样角度时,只需对所设过渡点及边长采取相应措施,即可满足精度要求。在 $\angle\beta$ 较小情况下,对归化角值误差 $m_{\Delta\beta}$ 可略而不计。这样可认为放样角度中误差 $M=m_{\beta}'$,即 m_{β}' 就充分反映出放样角度的精度。同时,也可认为 m_{β}' 是对直接法所放出的方向 OB' 与已知方向 OA 间水平角的测角中误差。

下面讨论水平角观测的误差来源、影响,以及精度和观测方法预计问题。

一、水平角观测的误差

水平角观测误差主要包括:仪器对中误差 $m_{\text{中}}$;目标偏心误差 $m_{\text{目}}$;仪器误差 $m_{\text{仪}}$;外界影响误差 $m_{\text{外}}$;观测本身(测量方法)的误差 $m_{\text{测}}$ 。

1. 目标偏心与仪器对中引起的测角误差 为了测得 $\angle A_0C_0B_0$ 的正确值,如图1-2-1所示,应使经纬仪竖轴与 C_0 点在同一铅垂线上,同时,觇标亦应正确设置在 A_0 、 B_0 点上。但由于仪器对中以及觇标安置过程不可避免会产生误差,实际却往往安置在 A 、 B 、 C 点上,这时,实测的角为 $\angle ACB$, CC_0 为对中偏心距, AA_0 、 BB_0 为目标偏心距。显然,由于受仪器对中偏心误差与目标偏心误差的影响,使得 $\angle ACB \neq \angle A_0C_0B_0$ 。

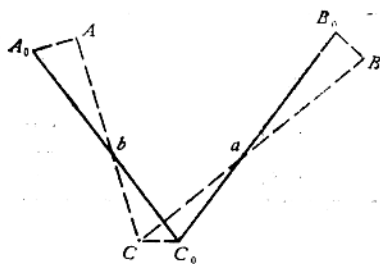


图 1-2-1

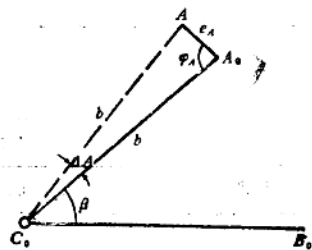


图 1-2-2

(1) 目标偏心引起的测角误差 先假设 C_0 、 B_0 点没有偏心,仅 A_0 点处偏心,其 $A_0A=e_A$,如图1-2-2所示。对 A_0 点方向误差影响为 Δ_A ,其大小随 e_A 大小及 A 点所在位置而变, Δ_A 可看成 φ_A 的函数; A 点位置的变化只能在 $0^\circ \sim 360^\circ$ 之间,所以 Δ_A 可能有无限多个,只要变化微小的角度 $d\varphi_A$,就会出现一个 Δ_A ,则

$$n = \frac{2\pi}{d\varphi_A}$$

可以将真误差 Δ_A 写成目标偏心引起的测角中误差表达式:

$$m_A = \pm \sqrt{\frac{[\Delta_A \Delta_A]}{n}} \quad (1-2-10)$$

由图1-2-2按正弦定律可得

$$\frac{\sin \Delta_A}{e_A} = \frac{\sin \varphi_A}{b}$$

由于 $\angle A$ 很小, 可认为 $\sin \angle A \approx \angle A$, 则

$$\angle A'' = \rho'' \frac{e_A}{b} \sin \varphi_A$$

代入 (1-2-10) 式得

$$m_A^2 = \frac{[\angle A \angle A]}{n} = \frac{\rho''^2}{n} \cdot \frac{e_A^2}{b^2} [\sin^2 \varphi_A]$$

再代入 n 值, 并以积分形式表达:

$$m_A^2 = \frac{\rho''^2 e_A^2}{2\pi b^2} \int_0^{180} \sin^2 \varphi_A d\varphi_A$$

式中

$$\int_0^{180} \sin^2 \varphi_A d\varphi_A = \pi$$

故

$$m_A^2 = \frac{\rho''^2 e_A^2}{2b^2}$$

或

$$m_A = \pm \rho'' \frac{e_A}{b\sqrt{2}} \quad (1-2-11)$$

同理, 可求得 B_0 点处目标偏心所引起的测角中误差公式为

$$m_B = \pm \rho'' \frac{e_B}{a\sqrt{2}} \quad (1-2-12)$$

两个方向目标偏心对观测水平角所引起的中误差为

$$m_R = \pm \rho'' \sqrt{\frac{1}{2} \left(\frac{e_A^2}{b^2} + \frac{e_B^2}{a^2} \right)} \quad (1-2-13)$$

由 (1-2-13) 式可看出, 目标偏心所引起的测角中误差, 与偏心距 e_A 、 e_B 的大小及边长 b 、 a 的长短有关, 而与水平角 β 的大小无关。边长越短, 其误差越大, 安置觇标越要细心准确。

(2) 仪器对中不精确所引起的测角误差
放 C_0 处有偏心, 其偏心距 $C_0C = e_c$, 偏心方向离开 C_0A_0 为 θ 角, 本欲测 $\angle A_0C_0B_0 = \beta_0$, 现测得的是 $\angle A_0CB_0 = \beta$, 见图 1-2-3。

过 C 点分别作平行线 $CA' \parallel C_0A_0$, $CB' \parallel C_0B_0$, 得

$$\beta_0 + \delta_A = \beta + \delta_B$$

其角度误差为

$$\angle \beta = \beta_0 - \beta = \delta_B - \delta_A$$

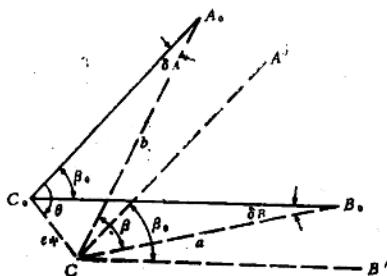


图 1-2-3

同样, 偏心距 e_{Φ} 离开 $C_0 A_0$ 方向所构成的夹角 θ 只能在 $0^\circ \sim 360^\circ$ 之间变化, 可出现 n 个 $\Delta\beta$, $\Delta\beta$ 看成是 e_{Φ} 、 θ 的函数, 则

$$n = \frac{2\pi}{d\theta}$$

将对中影响产生的测角误差用中误差表示, 可写成

$$m_{\Phi}^2 = \frac{[(\Delta\beta)^2]}{n} = \frac{[(\delta_{\beta} - \delta_A)^2]}{n} \quad (1-2-14)$$

由图 1-2-3 可看出:

$$\delta_A = \frac{e_{\Phi}}{b} \rho'' \sin \theta$$

$$\delta_{\beta} = \frac{e_{\Phi}}{a} \rho'' \sin(\theta - \beta_0)$$

所以

$$\delta_{\beta} - \delta_A = -\rho'' e_{\Phi} \left(\frac{1}{a} \sin(\beta_0 - \theta) + \frac{1}{b} \sin \theta \right)$$

代入 (1-2-14) 式得

$$m_{\Phi}^2 = \frac{[(\delta_{\beta} - \delta_A)^2]}{n} = \frac{\rho''^2 e_{\Phi}^2}{n} \left\{ \frac{1}{a^2} [\sin^2(\beta_0 - \theta)] + \frac{2}{ab} [\sin(\beta_0 - \theta) \sin \theta] + \frac{1}{b^2} [\sin^2 \theta] \right\}$$

代入 n 值, 用积分形式表示:

$$m_{\Phi}^2 = \frac{\rho''^2 e_{\Phi}^2}{2\pi} \left\{ \frac{1}{a^2} \int_0^{2\pi} \sin^2(\beta_0 - \theta) d\theta + \frac{2}{ab} \int_0^{2\pi} \sin(\beta_0 - \theta) \sin \theta d\theta + \frac{1}{b^2} \int_0^{2\pi} \sin^2 \theta d\theta \right\}$$

由于式中

$$\int_0^{2\pi} \sin^2 \theta d\theta = \pi$$

$$\int_0^{2\pi} \sin^2(\beta_0 - \theta) d\theta = \pi$$

$$\int_0^{2\pi} \sin(\beta_0 - \theta) \sin \theta d\theta = -\pi \cos \beta_0$$

因此

$$\begin{aligned} m_{\Phi}^2 &= \frac{\rho''^2 e_{\Phi}^2}{2} \left(\frac{1}{a^2} - \frac{2 \cos \beta_0}{ab} + \frac{1}{b^2} \right) \\ &= \frac{\rho''^2 e_{\Phi}^2}{2a^2 b^2} (a^2 + b^2 - 2ab \cos \beta_0) \end{aligned}$$

或

$$m_{\beta} = \pm \frac{\rho'' e_{\beta}}{\sqrt{2ab}} \sqrt{a^2 + b^2 - 2ab \cos \beta_0} \quad (1-2-15)$$

从上式可看出, 由于仪器对中不精确引起的测角误差, 与所测的角度 β 大小有关。

$$\text{当 } \beta = 180^\circ \text{ 时, } \cos \beta = -1, m_{\beta} = \pm \frac{\rho'' e_{\beta}}{\sqrt{2ab}} (a+b)$$

$$\text{当 } \beta = 90^\circ \text{ 时, } \cos \beta = 0, m_{\beta} = \pm \frac{\rho'' e_{\beta}}{\sqrt{2ab}} \sqrt{a^2 + b^2}$$

$$\text{当 } \beta = 0^\circ \text{ 时, } \cos \beta = +1, m_{\beta} = \pm \frac{\rho'' e_{\beta}}{\sqrt{2ab}} (a-b)$$

以上说明 β 角在 180° 附近时对中误差影响最大, 这时对中更要仔细。

仪器对中误差亦与夹角边长成比例, 且两边长度之差越大, 其影响亦越大。

2. 仪器误差所引起的测角误差 仪器误差主要由于仪器本身各轴系间的几何关系未得到满足, 以及度盘刻划不均匀而产生的。主要有:

- (1) 仪器竖轴不垂直的误差;
- (2) 照准部偏心的误差;
- (3) 水平度盘的刻划误差;
- (4) 望远镜视准轴的误差;
- (5) 望远镜横轴不水平的误差;
- (6) 望远镜调焦使视准轴发生变动的误差。

仪器在使用前一般都做过检查校正, 但仍不可避免存在残余误差, 只能在使用过程采取使之抵消或削弱。一般要求做到:

- (1) 利用校正好的水平度盘水准管仔细安平, 使仪器竖轴铅直;
- (2) 均匀使用水平度盘刻划, 变换度盘位置读数;
- (3) 采取正倒镜观测, 取其平均值;
- (4) 望远镜的倾斜角不宜过大, 仪器至两观测目标的距离应大致相等, 以免变动对光。

3. 由外界影响而引起的测角误差 旁折光、风力、烟尘、仪器受热不均匀等外界影响, 均会引起测角误差。由于此种误差的大小难以用公式推算, 故应采取措施设法避免, 例如, 尽量选择无风时间观测, 给仪器打伞等。

4. 观测本身所产生的测角误差 水平角观测一般采用测回法或复测法。但无论用那种方法观测, 都必须进行瞄准和读数, 而每次瞄准和读数就不可避免地产生误差。

当用测回法观测水平角时, 其 n 测回的测角平均值中误差为

$$m_{\beta} = m_{\beta'} = \pm \sqrt{\frac{1}{n} (m_{\beta'}^2 + m_0^2)} \quad (1-2-16)$$

当采用复测法观测水平角时, 若复测 R 次, 则一倍角之中误差为