



全国煤炭高职高专“十一五”规划教材

工程 测量

主编 赵国忱 李孝文

煤炭工业出版社

全国煤炭高职高专“十一五”规划教材

工 程 测 量

主 编 赵国忱 李孝文

副主编 温继满

煤炭工业出版社

·北 京·

内 容 提 要

本书主要介绍了工程放样的基本方法;建筑工程控制测量及建筑工程施工测量;曲线放样讨论了圆曲线、综合曲线及各种曲线放样的原理和一般方法;线路工程测量叙述了公路、铁路的基本概述,岔路铁路的初测、定测、施工测量、线路纵横断面及土方量计算;地质勘探工程测量和水利工程测量;矿山工程测量,介绍了矿山建设中的主要测量工作,重点是通过立井进行地上与地下的联系测量,本书对贯通测量的方法、贯通误差预计进行了详细的讨论;最后介绍了变形监测。

本书是高职高专院校工程测量技术专业教材,也可作为成人教育及中等职业教育的专业教材,以及相关专业工程技术人员和自学者的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

工程测量 / 赵国忱,李孝文主编. —北京:煤炭工业出版社,2008.1

全国煤炭高职高专“十一五”规划教材

ISBN 978-7-5020-3229-6

I. 工… II. ①赵…②李… III. 工程测量—高等学校:技术学校—教材 IV. TB22

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 176919 号

煤炭工业出版社 出版
(北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)
网址:www.cciph.com.cn
北京京科印刷有限公司 印刷
新华书店北京发行所 发行

*
开本 787mm×1092mm^{1/16} 印张 19^{1/2}
字数 475 千字 印数 1—5 000
2008 年 2 月第 1 版 2008 年 2 月第 1 次印刷
社内编号 6030 定价 37.00 元

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,本社负责调换

全国煤炭高职高专工程测量技术类“十一五”规划教材

编审委员会

主 任:纪奕君

副 主 任:薄志毅 李天和 索效荣 李战宏

秘 书 长:赵国忱

委 员 (以姓氏笔画为序):

邓传军 冯大福 孙 江 孙金礼

任建华 刘永清 刘俊荷 米志强

宋文斌 李世平 李孝文 杨 楠

苗福林 贺英魁 钟来星 高绍伟

燕志明 姬 婧 梁振华 董俊锋

温继满

前 言

本书是由煤炭教育协会和中国矿业大学(北京)教材编审室共同组织,按照高等职业院校工程测量技术和矿山测量专业人才培养方案及工程测量教学大纲编写而成的,是全国煤炭高职高专工程测量技术和矿山测量专业“十一五”规划教材之一。

工程测量是为工程建设服务的,是工程建设的基础和保障。高等职业培养的是生产建设一线的应用性高级技术人才,掌握一定的基本理论,强化实践技能的培养,是高等职业教育的目标;结合培养目标;编写适应高职教育特色的专用教材,是本教材编写的主要目的。

工程测量技术是应用技术,随着测绘学科的发展,测绘仪器的更新,计算机在测绘行业的应用,测量方法、要求也在不断变化。本教材在介绍传统理论、方法的同时,也介绍新仪器、新设备在各种工程测量中的应用。全书共分九章,主要有工程放样的基本方法,建筑工程的控制测量和施工测量、线路工程测量、水利工程测量、地质勘探工程测量、矿山测量和变形监测。重点介绍测量方法、精度要求。

本书由赵国忱、李孝文任主编,温继满任副主编。具体编写分工是:绪论、第一章、第二章由赵国忱(辽宁工程技术大学职业技术学院)编写;第三章、第六章由温继满(河北能源职业技术学院)编写;第四章、第五章由李孝文(陕西能源职业技术学院)编写;第七章由焦亨余(重庆工程职业技术学院)编写;第八章由郝福恒(内蒙古科技大学高等职业学院)编写;第九章石永乐(石家庄工程技术学校)编写。全书由赵国忱进行统稿、定稿。

本书在编写过程中参阅了大量文献资料,引用了同类书刊中的部分内容;中国矿业大学郭达志教授对本书进行了认真审阅,并提出了许多宝贵意见和建议,在此表示衷心的感谢!

由于作者的水平有限,虽然进行了很大努力,做了大量的工作,但是书中不妥及错误之处仍然在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

2007.12

目 录

绪 论	(1)
第一章 工程放样的基本方法	(4)
第一节 工程放样概述	(4)
第二节 角度放样	(5)
第三节 长度放样	(11)
第四节 平面点位放样	(15)
第五节 高程放样	(22)
本章小结	(25)
第二章 建筑工程控制测量	(26)
第一节 施工控制网的建立	(26)
第二节 矩形控制网布设	(29)
第三节 高程控制网测量	(39)
本章小结	(40)
第三章 建筑工程施工测量	(41)
第一节 建筑施工测量概述	(41)
第二节 建筑场地平整测量	(43)
第三节 建筑物轴线放样	(50)
第四节 基础施工测量	(55)
第五节 工业厂房结构及机械设备安装测量	(64)
第六节 高层及高耸建筑物施工测量	(68)
本章小结	(76)
第四章 曲线放样	(77)
第一节 概述	(77)
第二节 圆曲线的放样	(78)
第三节 综合曲线的放样	(83)
第四节 曲线放样的特殊问题	(91)
第五节 竖曲线的放样	(94)
第六节 其他形式曲线的放样	(100)
本章小结	(104)
第五章 线路工程测量	(105)
第一节 概述	(105)
第二节 公路线路施工测量	(106)
第三节 铁路线路施工测量	(123)
第四节 桥梁施工测量	(127)

第五节 隧道施工测量	(139)
第六节 管道施工测量	(150)
本章小结	(154)
第六章 地质勘探工程测量	(155)
第一节 概述	(155)
第二节 勘探控制测量	(157)
第三节 地质点、探槽、探井测量	(161)
第四节 勘探线剖面测量	(165)
本章小结	(174)
第七章 水利工程测量	(175)
第一节 河道测量	(175)
第二节 水利枢纽工程测量	(190)
第三节 水工建筑测量	(195)
本章小结	(206)
第八章 矿山工程测量	(207)
第一节 概述	(207)
第二节 地下控制测量	(208)
第三节 建井工程测量	(221)
第四节 联系测量	(229)
第五节 巷道施工测量	(243)
第六节 贯通测量	(255)
本章小结	(267)
第九章 变形监测	(268)
第一节 建筑物变形监测概述	(268)
第二节 建筑物沉降变形观测	(269)
第三节 建筑物其他变形观测	(277)
第四节 开采沉陷机理与危害	(282)
第五节 沉陷观测	(288)
第六节 “三下”采煤及保护煤柱的留设	(294)
本章小结	(301)
主要参考文献	(303)

绪 论

工程测量学是测绘学科的一个重要分支,是研究工程建设中的测量理论、方法的一门学科,也是与建设工程关系最直接、最紧密、应用最广泛的学科,直接为工程建设服务。

各种各样的建设工程都离不开测量工作。翻开人类发展历史可以知道,自从人类有了改造自然、利用自然活动开始,测量工作就有了雏形。公元前二十七世纪,古埃及金字塔建设的形状、方向、结构等的精确定位,就是人类最杰出的作品。我国汉代司马迁的《史记》就有文字记载夏禹治水的测量工作,“陆行乘船,泥行乘橇,山行乘撵;左准绳、右规矩、载四时,以开九州、通九道、陡九泽、度九山”的勘测工作记录。我国历代古都、古城建筑群的中轴线定位、定向和建筑的对称建设等,都说明我国的工程测量研究历史悠久、手段高超、发展迅速。就当时的科技发展水平与状况,其成果是惊人的。随着历史文化的发展、科学技术的进步,工程建设越来越多、规模越来越大、结构越来越复杂,对测量工作的要求也越来越高,对工程测量理论与方法的研究也越来越多,在测绘学科内逐渐形成了独立的工程测量专业分支——工程测量学。国内、外对这个专业都给予了足够的重视,国际测量工作者协会(FIG)和中国测绘学会都设立了“工程测量专业委员会”,定期开展学术研究与交流活动,交流研究成果、探讨研究与发展方向。

工程测量学研究的内容也随着工程建设的不同而变化,涵盖工业与民用建筑、铁路、公路、桥梁、隧道、水利、管线、城市建设和地下工程等各个建设领域,贯穿于各种工程建设的始终,为工程建设直接服务。工程测量的基本方法、基本理论是共同的,但是还根据工程的性质、要求、建筑环境不同,而各有特点。按照建设工程的不同阶段,可以把工程测量在建设中的具体工作划分为三个阶段。

第一,建设工程勘察、规划与设计阶段的测量工作。

任何工程建设都要经过可行性研究、项目评估、设计等建设的初始阶段,在这个阶段里,测量作为工程建设的基础性工作,要为设计、可行性研究提供各种比例尺的地形图;大区域的工程建设,要建立测量控制网;还要为工程地质、水文地质勘察和水文检测提供图纸、资料 and 具体点位;对于一些重要工程、复杂地质条件的地区,要进行上部岩层的稳定性监测等工作。可以说,这个阶段的测量工作是其他工作的基础。

第二,建设工程施工阶段的测量工作。

施工阶段的测量工作方法和理论是工程测量学研究的主要内容,因工程的不同,其测量方法、要求也不同。在这个阶段,测量的主要工作是:根据不同的建设工程,建立各种等级、形状的建筑施工控制网;各种建筑的轴线、方向、点位的确定(称为放样或标定);设备安装测量;工程结束后的竣工测量;重要建筑物的变形监测。

第三,建设工程运营管理阶段的测量工作。

建设工程是为了人类的生产、生活服务的,工程建设完工后,进入运营与管理阶段。在

这个阶段,对于资源开发与勘察工程,测量主要是为生产服务,称为生产测量;对于其他工程,则要对建筑物进行变形监测,对大型设备的运行进行检测、校正,其目的是保证建设工程在使用中的稳定与安全,保证各种生产的顺利进行。

因此说,测量工作贯穿于各种建设工程的始终。是各种工程建设必不可少的基础性工作和辅助工作。

随着测绘学科理论、技术和测绘仪器的发展,对工程测量理论和方法也起到了变革性的作用。传统的测量方法逐渐被新技术所代替,主要表现在以下几个方面:

(1) 全站仪的广泛应用。全站仪是全站式电子速测仪的简称,它是集测角、测距、存储、运算等多种功能于一体的新型电子仪器。具有速度快、精度高、存储量大、稳定性好、人为影响小等优点。由于测角和测距的电子化,使得传统的各种平面点位放样方法逐渐被极坐标法所取代,改变了各种方法并用的格局。在设备安装测量、大(高)型建筑物的施工放样和变形监测等工作中,极大地简化了测量工作,使得测量方法更简单、方便、快速。

(2) GPS技术的应用。GPS技术的发展,对于测量工作来说,是革命性的进步,把测量工作由传统的地表平台,发展到了空间;由传统的平面与高程分别测量发展到平面高程一体。GPS技术在测量中的应用,简化了控制测量中点位布设、网型选择、边长限制等方面的要求,使得控制网根据工程特点在布设中更具有灵活性。RTK技术的应用,改变了传统的碎部点测量、点位放样方法,更灵活、更快速。减轻了测量工作的劳动强度,节省了工作时间,提高了工作效率,已经逐渐在各种测量工程应用。

(3) 激光技术应用。激光具有它自己的特性,测量工作应用激光的特点,开发出各种测量仪器,用于工程测量中。如用于大型建筑工程施工中轴线投测和立井施工定向的激光铅直仪,在施工场地上应用的激光经纬仪和激光平面仪,应用于工业设备安装和变形监测的激光准直仪,地下工程掘进测量的激光指向仪等。这些激光设备的广泛应用,提高了测量的精度,保证了工程质量。

(4) 计算机与GIS应用。测量的三项主要工作是测、绘、算。计算机技术的发展及其在测量中的应用,结合新型测量仪器,使得三项工作已经逐渐融为一体。于20世纪60年代发展起来的新兴学科GIS(地理信息系统),为测量工作提供了更好的平台。GIS是在计算机硬件支持下,对地理空间数据进行采集、输入、存储、操作、分析和建模,以提供对资源、环境及各种区域性研究、规划管理及决策所需信息的人机系统。通过建立有效的数学模型,反映空间地理现象和事物的空间位置特征、属性特征和事态特征;具有区域性、层次性、数据量大和注重空间分析的特点。GIS作为一个新兴的测绘学科分支,将测量的三维空间扩展到四维,将事物由静态扩展到与时间相关的动态,给测绘学科赋予了更大的服务领域、研究内容和发展空间。是测绘学科对计算机应用的进一步发展。

工程测量是应用科学,是以现代测量理论为基础,应用新的测量设备和技术,服务于建设工程。随着测量仪器的不断发展和进步,“3S”集成及与计算机技术的不断融合,将会对工程测量学科的发展产生更大的促进作用。

本学科在测绘学科中占有重要地位,是测绘学科各个专业必学的应用技术。学习本学科,必须具有一定的测量基础知识,如测量学基础、控制测量学和测量平差基础。同时也应对所服务工程的结构、设计、要求等有所了解。在实际工作中,根据不同建筑的特性、要求,采取灵活多样的测量方法,以满足施工的需要。

学习本门课程,要求学习者在掌握必要的基本理论、基本技术的同时,重点掌握本课程中的基本操作方法,学会根据工程项目最终点位精度要求,作出施工控制测量方法的技术设计,并能够依据技术设计进行施工测量。

第一章 工程放样的基本方法

任何一项工程都需要经过“设计—施工—验收—运营管理”四个阶段,工程测量也不例外。在接受一项工程测量任务后,首先要根据工程的性质、精度、工期要求等,做一个测量工作技术设计书,包括基本控制测量、施工测量、变形监测和竣工验收测量等四个部分;经有关部门批准后,进入施工阶段;工程完工后要进行验收测量,如竣工图测绘,重要点位的检查;施工和运营管理阶段要对重要的工业与民用建筑物进行变形监测。本章介绍施工测量的主要测量方法。

第一节 工程放样概述

测绘是将地面上的地物或地貌的位置按照一定的比例、用固定的符号在图纸上描绘出来。与测绘完全不同,放样又称为放样,是将图纸上设计好的建(构)筑物的平面和高程位置在实地标定出来,是建筑施工的基础。因此,在进行施工放样时,要具有高度的责任心,一旦出现差错,将严重影响建设工程的质量,给建设工程造成巨大的经济损失甚至人员的伤亡。

工程测量也要遵循“先整体后局部,先控制后碎部,先高级后低级”的测量工作基本原则。

放样的基本要素由放样依据、放样数据和放样方法三个部分组成。放样的依据是已知的起始点位和起始方向;放样数据是指为得到放样结果所必需的、在放样过程中所使用的数据,是由工程设计部门给定或由图中量测而得;放样方法是根据放样的内容及其精度要求所设计的作业方法和所使用的仪器,是根据精度要求设计的。

放样的基本内容,按位置划分,可以分为平面位置放样和高程位置放样;按结果划分,可分为角度放样(方向放样)、长度放样、高程放样和点位放样;按照放样的过程和精度划分,又可分为直接放样和归化放样。直接放样是根据放样依据与放样结果的几何位置关系,直接放样出实地位置;归化放样是直接放样后,对其进行精确测量,改化其与待定点之间的差值,其过程为“直接放样—精确测量—差值计算—位置改化”,归化放样的精度高于直接放样的精度。

施工放样的精度要求取决于建设工程的重要程度。一般金属或木质结构的精度高于砖混结构精度,砖混结构精度高于土质结构;有连接设备的高于无连接设备的;永久性的高于临时性的;装配式的高于整体式的。影响最终位置精度的因素有放样精度、施工精度和构件制作精度。放样精度取决起始数据等级、数据来源和方法,其中放样数据可由两种方法获取,一是设计给定数据;二是图上量取数据。一般来说,图上量取数据的精度较低。

在一个场区内的施工测量中,局部的相对位置关系在工程放样中尤为重要。

为了达到放样目的和精度要求,放样前应做如下准备工作:

- (1) 熟悉建设工程的具体设计和细部结构,确定建筑物的主轴线和重要点位的分布及相互关系;
- (2) 了解现场施工条件、基本控制点分布状况和位置关系;
- (3) 研究放样方案,计算放样数据,绘制放样略图,预计放样精度。

第二节 角度放样

角度放样又称为方向放样(指水平角或水平方向),是在一个已知方向的端点上设站,以该方向为起始方向,按设计的转角放样出另一个方向。

一、放样方法

根据不同的精度要求,角度放样可分为直接放样和归化放样。

1. 直接放样

如图 1-1 所示, A 和 B 为相互通视的已知点,欲在 A 点放样一已知方向 AP 。具体步骤如下:

(1) 在 A 点安置经纬仪,以正镜位置照准 B 方向,水平度盘置数为零。

(2) 计算放样角值 β 。

β 角为待放样的 $\angle BAP$ 的值,即

$$\beta = \alpha_{AP} - \alpha_{AB} \quad (1-1)$$

(3) 顺时针转动照准部,使度盘读数为 β ,制动照准部,在此方向线上距离 A 点 S 处(大小可根据实际情况确定)确定一点 P_1 。

(4) 倒镜照准 B 方向,度盘置数为 $180^\circ 00' 00''$,顺时针转动照准部,使度盘读数为 $180^\circ + \beta$,在视线方向上距 A 点 S 处确定一点 P_2 。

(5) 连接 $P_1 P_2$,取中点 P' ,则 AP' 为待放样方向, $\angle BAP'$ 为放样的角。

直接放样法一般用于精度要求不高的角度(方向)放样。

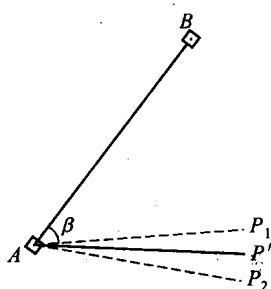


图 1-1 角度放样示意图

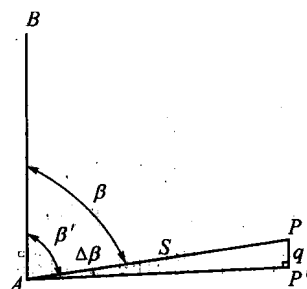


图 1-2 线量改化示意图

2. 归化放样

当放样的角度(方向)精度要求较高时,可采取归化放样法。

将 P' 点作为过渡点,精确测量 $\angle BAP'$ 的值,比较其与 β 的差值,并改正这一差值。如图 1-2 所示,具体步骤如下:

(1) 先用直接放样法放样出 $\angle BAP'$,再精确测量 $\angle BAP'$, $\angle BAP = \beta'$ 。

(2) 计算差值:

$$\Delta\beta = \beta' - \beta \quad (1-2)$$

若 $\Delta\beta < 0$, 说明角度放小了; 若 $\Delta\beta > 0$, 说明角度放大了。由于 $\Delta\beta$ 很小, 若直接改正角度则受仪器精度、操作过程的局限往往难以实施, 因此可以采用线量改化法。

令 q 为线量改化值, 则

$$q = \frac{\Delta\beta S}{\rho} \quad (1-3)$$

其中, $\rho = 206\,265''$ 。

(3) 在 P' 点作 AP' 的垂线 PP' , 在垂线上由 P' 点起向内(向外)量取 q 值, 端点为 P , 则 AP 方向即为待定方向, $\angle BAP$ 即为待放样的角 β 。

为检验该角的正确性, 可以测量 $\angle BAP$ 的值, 若不满足精度要求, 可以重复上一步骤继续改化。

二、角度放样精度

直接放样角度可视为是一个测回放样角度, 其精度只与仪器的等级有关; 归化放样角度时, 由于是对直接放样的角度进行了精确观测, 不存在直接放样角度的精度问题, 因此只考虑归化放样过程的精度。

按照归化放样的过程, 其误差有两个来源: 一是精确测量 β' 的测量误差 $m_{\beta'}$; 二是改化 q 的误差 m_q 产生的角度误差 $m_{\Delta\beta}$, 即改化 $\Delta\beta$ 产生的 $m_{\Delta\beta}$ 。令放样误差为 M , 则有

$$M^2 = m_{\beta'}^2 + m_{\Delta\beta}^2 \quad (1-4)$$

将式(1-3)变换为

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

对式(1-5)进行微分, 得

$$\frac{d\Delta\beta}{\Delta\beta} = \frac{dq}{q} - \frac{dS}{S} \quad (1-6)$$

转化为中误差形式为

$$\left(\frac{m_{\Delta\beta}}{\Delta\beta}\right)^2 = \left(\frac{m_q}{q}\right)^2 + \left(\frac{m_S}{S}\right)^2 \quad (1-7)$$

式中 m_S ——量距误差;

m_q ——线量改化 q 的误差;

$m_{\Delta\beta}$ ——由 m_q 产生的角度误差。

在同一工程且使用同型号仪器时, 量边的精度一般是相同的, 故认为

$$\frac{m_q}{q} = \frac{m_S}{S} \quad (1-8)$$

综合式(1-7)和式(1-8)得

$$\frac{m_q}{q} = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{m_{\Delta\beta}}{\Delta\beta} \quad (1-9)$$

$$\frac{m_q}{S} = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{m_{\Delta\beta}}{\Delta\beta} \quad (1-10)$$

将式(1-5)代入式(1-9)得

$$m_q = \frac{m_{\Delta\beta}}{\sqrt{2}\rho} S \quad (1-11)$$

令 $m_{\Delta\beta} = \frac{1}{k} m_{\beta'}$, 则有

$$m_q = \frac{1}{\sqrt{2}k} \frac{m_{\beta'}}{\rho} S \quad (1-12)$$

$$\frac{m_q}{S} = \frac{1}{\sqrt{2}k} \frac{m_{\beta'}}{\rho} \quad (1-13)$$

当 $k \geq \sqrt{10}$ 时, $m_{\Delta\beta}$ 只有 M 的 $1/10$, 可以略去 $m_{\Delta\beta}$ 的影响, 认为 $M \approx m_{\beta'}$ 。

由以上各式可以看出:

(1) 归化精度的高低与边长 S 的长度有关, 在 $m_{\beta'}$ 不变的情况下, S 较大时, 对 m_q 的要求较低; 反之, 对 m_q 的要求较高。

(2) $\frac{m_q}{S}$ 与 $m_{\beta'}$ 成正比、与 $\Delta\beta$ 成反比。即, 若量边精度低, 则对测角的精度要求高。

由此可见, 角度(方向)归化放样的精度主要取决于角度测量精度, 即与角度测量误差直接相关。

三、角度测量误差分析

水平角的观测误差对于经纬仪来说包括: 仪器对中产生的误差 $m_{\text{中}}$, 目标偏心产生的误差 $m_{\text{目}}$, 仪器自身产生的误差 $m_{\text{仪}}$, 外界环境影响误差 $m_{\text{外}}$ 和观测误差 $m_{\text{观}}$ 。即

$$m_{\beta'} = \pm \sqrt{m_{\text{中}}^2 + m_{\text{目}}^2 + m_{\text{仪}}^2 + m_{\text{外}}^2 + m_{\text{观}}^2}$$

1. 仪器对中不准确引起的测角误差 $m_{\text{中}}$

假设没有目标偏心, 仅有测站对中误差 $e_{\text{中}}$, 如图 1-3 所示, 欲测量 $\angle A_0 C_0 B_0 = \beta_0$, 因为存在对中误差 $e_{\text{中}}$, 实际测得 $\angle A_0 C B_0 = \beta$, 过 C 点分别作平行线 $CA' \parallel C_0 A_0$ 、 $CB' \parallel C_0 B_0$ 得

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

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

由于 C 点的位置无法确定, 故 $e_{\text{中}}$ 离开 $C_0 A_0$ 方向的夹角 θ 的变化范围为 $0^\circ \sim 360^\circ$, 可以有 n 个 $\Delta\beta$, $\Delta\beta$ 是 $e_{\text{中}}$ 和 θ 的函数。

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

对中产生的测角中误差 $m_{\text{中}}$ 可表示为

$$m_{\text{中}}^2 = \frac{\Delta\beta^2}{n} = \frac{(\delta_B - \delta_A)^2}{n} \quad (1-14)$$

由图 1-3 可知:

$$\delta_A = \frac{e_{\text{中}}}{b} \rho \sin \theta$$

$$\delta_B = \frac{e_{\text{中}}}{a} \rho \sin(\theta - \beta_0)$$

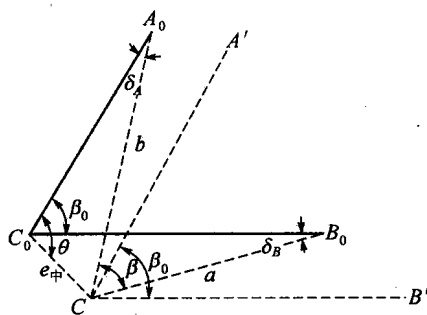


图 1-3 对中误差示意图

$$\delta_B - \delta_A = -\rho e_{\text{中}} \left[\frac{1}{a} \sin(\beta_0 - \theta) + \frac{1}{b} \sin \theta \right]$$

将 $n = \frac{2\pi}{d\theta}$ 代入式(1-14),并用积分形式表示:

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

式中

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

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

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

$$m_{\text{中}}^2 = \frac{\rho^2 e_{\text{中}}^2}{2} \left(\frac{1}{a^2} + \frac{2 \cos \beta_0}{ab} + \frac{1}{b^2} \right)$$

$$= \frac{\rho^2 e_{\text{中}}^2}{2a^2 b^2} (a^2 + b^2 + 2ab \cos \beta_0)$$

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

由式(1-15)可知:

(1) 当 $\beta_0 = 180^\circ$ 时, $\cos \beta_0 = -1$, $m_{\text{中}} = \pm \frac{\rho e_{\text{中}}}{\sqrt{2ab}} (a - b)$ 。

(2) 当 $\beta_0 = 90^\circ$ 时, $\cos \beta_0 = 0$, $m_{\text{中}} = \pm \frac{\rho e_{\text{中}}}{\sqrt{2ab}} \sqrt{a^2 + b^2}$ 。

(3) 当 $\beta_0 = 0^\circ$ 时, $\cos \beta_0 = 1$, $m_{\text{中}} = \pm \frac{\rho e_{\text{中}}}{\sqrt{2ab}} (a + b)$ 。

对中误差引起的测角误差与夹角的边长成反比,边越长,对中误差对测角的影响越小;与所测角度有关, β 在 $0^\circ \sim 180^\circ$ 之间增大, $m_{\text{中}}$ 亦增加。

2. 目标偏心引起的测角误差 $m_{\text{目}}$

如图 1-4 所示,假设 C_0 点没有对中误差, B_0 点也没有目标偏心差, A_0 点目标偏心距为 e_A 。由于 A_0 目标的方向影响值为 ΔA ,且 ΔA 随 φ_A 的大小不同而变化,而 φ_A 是随 e_A 的大小及位置而变化的,故可以认为 e_A 是 φ_A 的函数, φ_A 的变化范围是 $0^\circ \sim 360^\circ$ 。

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

产生了 n 个 ΔA ,用测角中误差表达为

$$m_A = \pm \sqrt{\frac{(\Delta A \cdot \Delta A)}{n}}$$

如图 1-4 所示,按正弦定理可得

$$\frac{\sin \Delta A}{e_A} = \frac{\sin \varphi_A}{b}$$

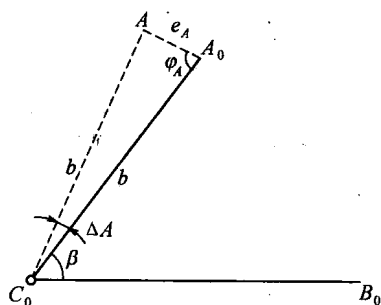


图 1-4 偏心误差示意图

因 ΔA 很小, $\lim(\sin \Delta A) \approx \Delta A$, 则

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

$$m_A^2 = \frac{[\Delta A \cdot \Delta A]}{n} = \frac{\rho^2}{n} \cdot \frac{e_A^2}{b^2} [\sin^2 \varphi_A] \quad (1-16)$$

将 $n = \frac{2\pi}{d\varphi_A}$ 代入式(1-16), 并用积分形式表达:

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

式中

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

故

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

$$m_A = \frac{\rho e_A}{\sqrt{2}b} \quad (1-17)$$

同理, 在 B 处:

$$m_B = \frac{\rho e_B}{\sqrt{2}a} \quad (1-18)$$

A、B 两点目标偏心对 C 点角度观测值的影响为

$$m_{\text{目}} = \pm \sqrt{\frac{1}{2} \left(\frac{e_A^2}{b^2} + \frac{e_B^2}{a^2} \right)} \quad (1-19)$$

3. 仪器误差引起的测角误差 $m_{\text{仪}}$

仪器误差引起的测角误差 $m_{\text{仪}}$ 主要是由仪器轴系关系误差和度盘刻划不均匀等因素引起的, 主要有竖轴与水准管轴不垂直、照准部偏心、横轴与竖轴不垂直、视准轴与横轴不垂直、调焦螺旋影响视准轴和度盘刻划不均匀。这些误差可以通过测量方法和校正来尽量减小, 但是仍然会有残余误差存在, 而且难以量化表示。

4. 外界环境影响的测角误差 $m_{\text{外}}$

外界环境影响主要是指大气折光、风力、空气透明度、光照等, 虽然在数值上难以准确估算, 但可以用一些方法减小, 如选择观测时间、采取防护措施等。

5. 测量方法误差 $m_{\text{观}}$

对于光学经纬仪来说, 存在读数误差 m_0 和照准误差 m_v , 而对于电子经纬仪和全站仪来说, 主要是照准误差 m_v 。采用 n 个测回测角, 其平均值中误差为

$$m_{\text{观}} = \sqrt{\frac{1}{n} (m_v^2 + m_0^2)} \quad (1-20)$$

$$m_v = \pm \frac{60''}{v} \quad (1-21)$$

式中 v ——望远镜放大倍率。

读数误差 m_0 因仪器等级不同而异: 对于 J_6 级经纬仪, 其估读数为度盘最小刻划 $1'$ 的 0.1 倍, 即一般为 $6''$, 取 $m_0 = \pm 3''$; 对于 J_2 级及更高级别的仪器来说, 一般采用两次符合读数, 按互差限差要求, 可取互差限差 Δ 的 $1/2$ 作为读数误差。例如 J_2 级经纬仪两次符合读数互差限差为 $\pm 3''$, 则读数误差取 $m_0 = \pm 1.5''$, 取整为 $m_0 \approx \pm 2''$ 。

四、水平角放样方法设计

为保证施工测量结果满足工程质量要求,在施工前应根据精度要求对具体的施测方法进行设计。如前所述,水平角(或方向)放样精度取决于归化放样的测角精度,令水平角观测误差为 m_{β} , 即

$$m_{\beta} = \pm \sqrt{m_{\text{中}}^2 + m_{\text{目}}^2 + m_{\text{仪}}^2 + m_{\text{外}}^2 + m_{\text{观}}^2} \quad (1-22)$$

由于在施工设计前既没有选择测量仪器,又没有选择测量方法,因此误差的大小是未知的。根据相等影响原则,在设计时,可以认定各项中误差是相等的,即

$$m_{\text{中}} = m_{\text{目}} = m_{\text{仪}} = m_{\text{外}} = m_{\text{观}} = m \quad (1-23)$$

$$m_{\beta} = \pm \sqrt{5} m \quad (1-24)$$

$$m = \pm \frac{1}{\sqrt{5}} m_{\beta} \quad (1-25)$$

对于某项工程来说,允许在测量工作中产生的测角误差为 $M_{\text{测}}$, 中误差为 $m_{\text{测}} = \pm \frac{1}{2} M_{\text{测}}$; 当 $m_{\Delta\beta}$ 小到可以忽略不计时, $m_{\beta} = m_{\text{测}}$ 。由 $m = \pm \frac{1}{\sqrt{5}} m_{\beta}$ 反求对中误差、目标偏心差的限值以及所选仪器的型号、等级和测量方法。

例 1-1 欲采用 J₆ 型经纬仪放样一水平角,其最大允许误差为 $\Delta_{\text{允}} = \pm 20''$, 所放样的边长 $S = 100 \text{ m}$, 归化长度误差 $m_q = \pm 1.0 \text{ mm}$, 望远镜放大倍数为 28 倍, $t = l'$, 试选择放样该角应采用的方法。

解:

(1) 求放样角度的中误差 M 和测角中误差 m_{β} :

$$M = \pm \frac{1}{2} \Delta_{\text{允}} = \pm \frac{20''}{2} = \pm 10''$$

由于有 m_q 的影响,改正 $\Delta\beta$ 的中误差 m_{β} 为

$$m_{\Delta\beta} = \pm \frac{m_q}{S} \rho = \pm \frac{1.0}{100 \times 10^3} \times 206\,265 = \pm 2.1''$$

角度观测中误差 m_{β} 为

$$m_{\beta} = \pm \sqrt{M^2 - m_{\Delta\beta}^2} = \pm \sqrt{10^2 - 2.1^2} = \pm 9.8''$$

(2) 各单项误差预计:

$$m_{\text{中}} = m_{\text{目}} = m_{\text{仪}} = m_{\text{外}} = m_{\text{观}} = m$$

$$m \leq \frac{m_{\beta}}{\sqrt{5}} = \frac{\pm 9.8}{\sqrt{5}} = \pm 4.38''$$

(3) 仪器对中误差容许值(令 $a = b$):

$$e_{\text{中}} \leq \frac{S}{\rho \sqrt{2}} m = \frac{100 \times 10^3}{206\,265 \times \sqrt{2}} \times (\pm 4.38) = \pm 1.5 \text{ mm}$$

(4) 目标偏心误差容许值:

$$e_{\text{目}} \leq \frac{S}{\rho} m = \frac{100 \times 10^3}{206\,265} \times (\pm 4.38) = \pm 2.2 \text{ mm}$$

(5) 测回法测角的测回数: