



国家示范性高等院校核心课程规划教材

工程测量技术专业及专业群教材

工程测量

GONGCHENG CELIANG

主 编 焦亨余

副主编 赵和鸣



重庆大学出版社

<http://www.cqup.com.cn>

工程测量

主 编 焦亨余
副主编 赵和鸣

重庆大学出版社

内容提要

本书是国家高职示范院校建设单位的核心课程教材。全书共8个学习情境,重点介绍了工程施工放样的基本方法;公路铁路线路的初测、定测、施工测量、纵横断面测量及土石方计算;建筑工程控制测量及施工测量;水利工程施工测量;矿山工程的地面及地下控制测量、中腰线放样、贯通测量方法和贯通误差预计等;最后介绍了变形观测、工程测量课程设计和生产实训。本课程与地形测量、测量平差、大地测量等课程之间联系密切,对培养学生的专业能力和岗位能力具有重要作用。

本书适合高职高专测绘类专业教学使用,也可作为成人教育及中等职业教育的教材,以及相关专业工程技术人员参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

工程测量/焦亨余主编. —重庆:重庆大学出版社,2010.1

(工程测量技术专业系列教材)

ISBN 978-7-5624-5247-8

I. 工… II. 焦… III. 工程测量—高等学校—教材 IV. TB22

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 228510 号

工程测量

主 编 焦亨余

副主编 赵和鸣

责任编辑:朱开波 封面设计:朱开波

责任校对:邱小梅 责任印制:张 策

重庆大学出版社出版发行

出版人:张鸽盛

社址:重庆市沙坪坝正街174号重庆大学(A区)内

邮编:400080

电话:(023) 65102378 65105561

传真:(023) 65103686 65105565

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn (营销中心)

全国新华书店经销

重庆升光电力印务有限公司印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:19.5 字数:487千

2010年1月第1版 2010年1月第1次印刷

印数:1—3 000

ISBN 978-7-5624-5247-8 定价:35.00元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有,请勿擅自翻印和用本书

制作各类出版物及配套用书,违者必究

编写委员会

编委会主任 张亚杭

编委会副主任 李海燕

编委会委员

唐继红
黄福盛
吴再生
李天和
游普元
韩治华
陈光海
宁望辅
栗俊江
冯明伟
兰玲
庞成

序

本套系列教材是重庆工程职业技术学院国家示范高职院校专业建设的系列成果之一。根据《教育部 财政部关于实施国家示范性高等职业院校建设计划 加快高等职业教育改革与发展的意见》(教高[2006]14号)和《教育部关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》(教高[2006]16号)文件精神,重庆工程职业技术学院以专业建设大力推进“校企合作、工学结合”的人才培养模式改革,在重构以能力为本位的课程体系的基础上,配套建设了重点建设专业和专业群的系列教材。

本套系列教材主要包括重庆工程职业技术学院五个重点建设专业及专业群的核心课程教材,涵盖了煤矿开采技术、工程测量技术、机电一体化技术、建筑工程技术和计算机网络技术专业及专业群的最新改革成果。系列教材的主要特色是:与行业企业密切合作,制定了突出专业职业能力培养的课程标准,课程教材反映了行业新规范、新方法和新工艺;教材的编写打破了传统的学科体系教材编写模式,以工作过程为导向系统设计课程的内容,融“教、学、做”为一体,体现了高职教育“工学结合”的特色,对高职院校专业课程改革进行了有益尝试。

我们希望这套系列教材的出版,能够推动高职院校的课程改革,为高职专业建设工作作出我们的贡献。

重庆工程职业技术学院示范建设教材编写委员会
2009年10月

前言

本书是以围绕国家示范性高等职业院校国家重点建设专业——工程测量技术专业的“以项目导向的工学结合人才培养模式”而制订的《工程测量》课程标准为主要依据,在总结多年教学经验,与企业合作的基础上共同编写而成的。

在教材编写时,为了体现高职教育的特点,满足高职教育培养高技能应用型人才的要求,以掌握典型测绘工程项目的知识和技能为目的,力求做到:概念准确,内容精炼,紧扣人才培养目标;不强调理论知识的系统性,以必需、够用为度,突出理论与实践的一体化。

工程测量是为工程建设服务的,是工程建设的基础和保障。工程测量技术是一门应用技术,随着科学技术的发展,测绘仪器的更新,计算机技术、光电技术和卫星技术在测绘行业的应用,测量方法、要求也在不断变化。本书在介绍传统的理论、方法的同时,也介绍了新仪器、新设备、新方法的应用,删除部分在现在基本不用的传统测量方法、测量手段的内容。全书共分为8个学习情境,主要有工程放样的基本方法、公路铁路工程测量、工业与民用建筑施工测量、地下工程施工测量、水利工程测量、建筑物变形监测和技能训练等内容。

本书由重庆工程职业技术学院焦亨余主编、赵和鸣副主编。长江水利委员会第八勘测院吴尚科、重庆工程职业技术学院的邓军参编,具体编写分工是:绪论、学习情境1、学习情境2、学习情境8、附录由焦亨余编写;学习情境3、学习情境6由邓军编写,学习情境4、学习情境7由赵和鸣编写,学习情境5由吴尚科编写。全书由焦亨余统一修改定稿。

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;重庆工程职业技术学院的李天和教授进行了认真细致的审阅,提出了许多宝贵的意见和建议,在此表示衷心的感谢。同时对重庆大学出版社的大力支持表示感谢。

由于编者的水平、时间有限,虽然进行了很大的努力,但书中难免有欠妥和错误之处,敬请专家和读者批评指正。

编 者

2009 年 9 月

目 录

绪论	1
学习情境1 工程放样的基本方法	3
子情境1 角度放样	4
【技能训练1】 角度放样	9
子情境2 长度放样	10
【技能训练2】 距离放样	12
子情境3 高程放样	13
【技能训练3】 高程放样	19
子情境4 平面点位放样	19
【技能训练4】 极坐标放样	22
【技能训练5】 直角坐标法放样	24
【技能训练6】 角度交会法放样	25
知识技能训练1	28
学习情境2 公路铁路工程测量	30
子情境1 公路铁路初测	30
子情境2 公路铁路详细测量	34
【技能训练7】 线路纵横断面测量	45
子情境3 公路铁路施工测量	46
【技能训练8】 路基边桩放样	52
子情境4 曲线测设	52
【技能训练9】 极坐标法放样曲线的计算和放样	64
子情境5 桥梁施工测量	75
知识技能训练2	93
学习情境3 工业与民用建筑施工测量	95
子情境1 建筑工程施工控制网	97
【技能训练10】 建筑方格网的测设与调整	103

子情境 2 场地平整测量	104
【技能训练 11】 场地平整测量	112
子情境 3 民用建筑施工测量	113
子情境 4 工业建筑施工测量	123
【技能训练 12】 激光铅垂仪投点	144
知识技能训练 3	145
学习情境 4 地下工程施工测量	146
子情境 1 矿山控制测量	147
【技能训练 13】 地下导线测量	156
【技能训练 14】 地下水准测量	161
子情境 2 竖井联系测量	161
子情境 3 巷道施工测量	175
【技能训练 15】 掘进巷道中线、腰线的标定	182
子情境 4 巷道贯通测量	183
子情境 5 隧道工程测量	194
子情境 6 地下管道施工测量	206
知识技能训练 4	209
学习情境 5 水利工程测量	210
子情境 1 渠道和堤线测量	211
子情境 2 河道测量	221
子情境 3 水利枢纽工程测量	236
知识技能训练 5	255
学习情境 6 建筑物变形监测	256
子情境 1 建筑物变形监测概述	257
子情境 2 建筑物沉降变形观测	261
子情境 3 建筑物水平位移观测	271
子情境 4 其他变形监测	282
【技能训练 16】 建筑物倾斜观测	288
知识技能训练 6	289
学习情境 7 工程测量课程设计	290
学习情境 8 工程测量生产实训	292
附录 测量实训的一般要求	296
参考文献	300

绪 论

工程测量是测绘学科的一个重要的分支,是研究地球空间中具体几何实体测量和抽象几何实体测设的理论、方法和技术的一门应用学科。它主要研究在工程建设中,进行地形和有关信息的采集与处理、施工放样、设备安装、变形监测与分析预报等方面的理论和技术,以及与之相关的信息管理与使用,是直接为工程建设服务的学科。

工程测量是为工程建设服务的,由于服务对象众多,因此,它包括的内容非常广泛。按照服务对象来划分,其内容大致可分为:工业与民用建筑工程测量,水利水电工程测量,铁路、公路、管线、电力线路等线型工程测量,桥梁工程测量,矿山测量,隧道及地下工程测量,等等。按照工程建设的顺序和相应作业的性质,可将工程测量的内容分为以下3个阶段的工作:

1. 建设工程勘测、规划与设计阶段的工作

工程建设都要经过可行性研究、项目评估、规划设计等工程建设的前期工作。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、纵横断面图等测绘资料;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。

2. 建设工程施工阶段的测量工作

设计好的工程在经过各项审批后,进入施工阶段。施工阶段的测量工作方法和理论是工程测量研究的主要内容,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,建立不同等级、不同形状的建筑施工控制网;将设计的工程位置标定在现场;设备的安装测量;工程结束后的竣工测量;重要建筑物的变形监测。

3. 建设工程竣工后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,工程建设竣工后,进入运营管理阶段。在这个阶段,需要测绘工程竣工图或进行工程最终定位测量作为工程验收和移交的依据。对于一些大型工程和重要工程,还需对其安全性和稳定性进行监测,为工程的安全运营提供保障。

因此,测量工作贯穿于工程建设的始终。它是各种工程建设必不可少的基础工作和辅助工作。

近年来,随着测绘学科理论、技术和仪器设备的发展,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4个方面:

(1)全站仪的广泛使用。全站仪是全站式电子速测仪的简称,是集测角、测距、存储和运算等多种功能于一体的新型电子仪器。它具有速度快、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步被极坐标法所取代,改变了各种方法并用的格局。在各种工程建设过程中的施工放样和变形监测等工作中,极大地简化了测量工作,使得测量工作更简单、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面平台,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测量。GPS 技术在测量中的应用,简化了控制测量中点位选择、网线布设、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,使施工测量更灵活、更快速。其应用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。

(3)激光技术应用。由于激光具有一些优良的特性,因此,激光技术在工程测量领域得到了广泛的应用,开发出各种测量仪器。例如,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垂仪;在施工场地上应用的激光经纬仪和激光扫平仪;应用于工业设备安装和变形监测的激光准直仪;地下工程掘进中的激光指向仪,等等。总之,这些激光仪器的使用,不仅节约了时间,提高了工效,保证了定线放样的精度,给施工放样工作带来很大的方便,而且为施工测量自动化创造了条件。

(4)计算机技术的应用。目前,计算机已成为测量工作的最优化设计、测量数据处理、自动化成图以及建立各种工程数据库与信息系统的最有效和必不可少的工具。测量的3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,使得这3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,服务于工程建设。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,重点掌握本门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,做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。

学习情境 1

工程放样的基本方法



教学内容

主要介绍角度、长度、高程的放样方法和步骤,以及平面点位的放样方法和操作步骤,放样数据的计算,放样精度的计算和放样方法的选择。



知识目标

能正确陈述角度放样、长度放样、高程放样、极坐标法放样平面点位、直角坐标法放样点位、角度交会法放样点位的方法和操作步骤。



技能目标

能熟练操作经纬仪、全站仪和水准仪进行角度、长度、高程和平面点位的放样;能熟练地计算放样数据;能进行工程点位的标定工作;能进行放样精度估算,选择放样方法和仪器等。



学习导入

任何一项工程都需要经过“设计—施工—验收—运营管理”4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、精度要求、工期要求等,做一个技术设计,包括基本控制测量、施工测量、变形监测和竣工验收测量4个部分;经有关部门批准后,进入施工阶段;工程完工后要工程验收测量,如竣工图测绘,重点点位的检查;运营管理阶段常把重要的工业、民用建筑物的变形监测。本章要介绍的内容是施工测量阶段的主要测量方法。

测绘是将地面上的地物或地貌的位置测量完后用固定的符号在图纸上描绘出来。与测绘完全不同,放样又称为测设,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。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。

放样要素由放样依据、放样数据和放样方法 3 个部分组成。放样的依据是指放样的起始点位和起始方向,是已知的;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获得的;放样方法是根据待放样结果及其精度要求所设计的操作过程和所使用的仪器,是由有关部门设计的。

放样的基本内容按位置划分,可分为平面位置放样和高程放样;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。

建设工程对施工放样的精度要求取决于建设工程的重要程度。例如,金属或木质结构的高于砖结构的,砖混结构的高于土质结构的;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、放样数据来源和放样方法,其中放样数据可由两种方法获取:一是设计给数据,二是图上量取数据。一般来说,图上量取数据的精度较低。局部的相对位置关系在工程放样中尤为重要。

为了达到放样的目的和精度要求,放样前,应做好如下准备工作:

(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。

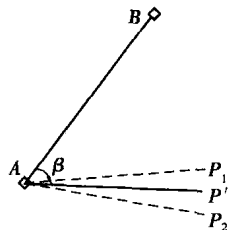
(3)研究放样方案,计算放样数据,预计放样精度,绘制放样略图。

子情境 1 角度放样

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

一、放样方法

角度放样根据不同的精度要求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 点放样另一已知方向 AP。其具体步骤如下:

(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 $\angle BAP$ 的值,即

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

图 1-1 角度放样示意图

(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_s (大小可根据实际情况确定)处确定一点 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_1P_2 , 取中点 P' , 则 AP' 即为待放样方向。 $\angle BAP'$ 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。

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' 点作为过渡目标, 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 $\angle BAP'$, 精确测量 $\angle BAP'$, 得到其测量值为 β' , 则

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

(2) 计算差值:

若 $\Delta\beta < 0$, 角度放小了; 若 $\Delta\beta > 0$, 角度放大了, 分别向外(向内)改化该角。由于 $\Delta\beta$ 很小, 直接改化角度受仪器精度、操作过程的影响较大, 因此, 可以采用线量改正法。

令 q 为线量改正值, 则

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

其中, $\rho = 206\ 265''$ 。

(3) 在 P' 点作 AP' 的垂线, 在垂线上由 P' 点起, 按 $\Delta\beta$ 的符号向内(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 (见图 1-2)。

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, 可以进一步改化。

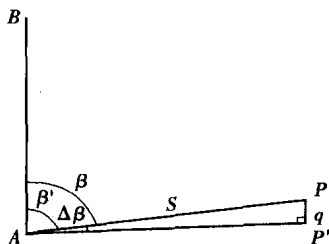


图 1-2 线量改化示意图

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观测, 已经不存在直接放样角度的精度问题, 因此只考虑归化过程的精度。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 $m_{\Delta\beta}$, 即由于改化 $\Delta\beta$ 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

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

转化为中误差式, 得

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

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。

在同一工程中,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

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

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

将式(1-5)代入式(1-9)得

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

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

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

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

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

由上式可以看出:

(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, 若 S 较大, 则对 m_q 的要求较低; 反之, 若 S 较小, 则对 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)放样的精度主要取决于角度测量的精度。

三、误差分析

1. 测角误差的来源

对于光学经纬仪来说, 水平角的观测误差包括: 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

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

2. 测角误差分析及计算

1) 仪器对中偏差引起的测角误差 $m_{\text{中}}$

假设没有目标偏心存在, 仅有测站对中误差 $e_{\text{中}}$, 如图 1-3 所示, 欲测量 $\angle A_0 C_0 B_0 = \beta_0$, 因存在对中误差而实际测得 $\angle A_0 C B_0 = \beta$, 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_0A_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,即

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

对中产生的测角中误差可表示为

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

由图1-3可知:

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

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

则

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

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

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

式中

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

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

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

则

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

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

由式(1-15)可知:

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

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

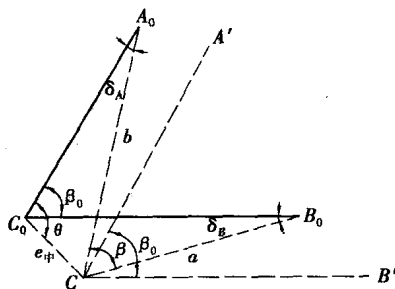


图1-3 对中误差示意图

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

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 $0 \sim 180^\circ$ 增大, $m_{\text{中}}$ 也增加。

2) 目标偏心引起的测角误差 $m_{\text{目}}$

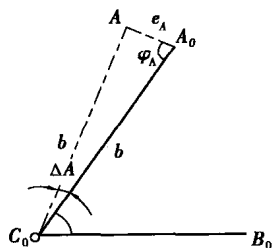


图 1-4 偏心误差示意图

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 对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,可以认为 e_A 是 φ_A 的函数, φ_A 的变化范围为 $0^\circ \sim 360^\circ$, 则

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

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

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

因为 ΔA 很小,则

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

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

以 $n = \frac{2\pi}{d\varphi_A}$ 代入式(1-16),并用积分式表达为

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

式中

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

故

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

同理,在 B 处,则

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

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 $m_{\text{仪}}$

仪器误差主要是由仪器轴系关系误差和度盘刻划不均匀而产生,主要有竖轴与水准管轴