

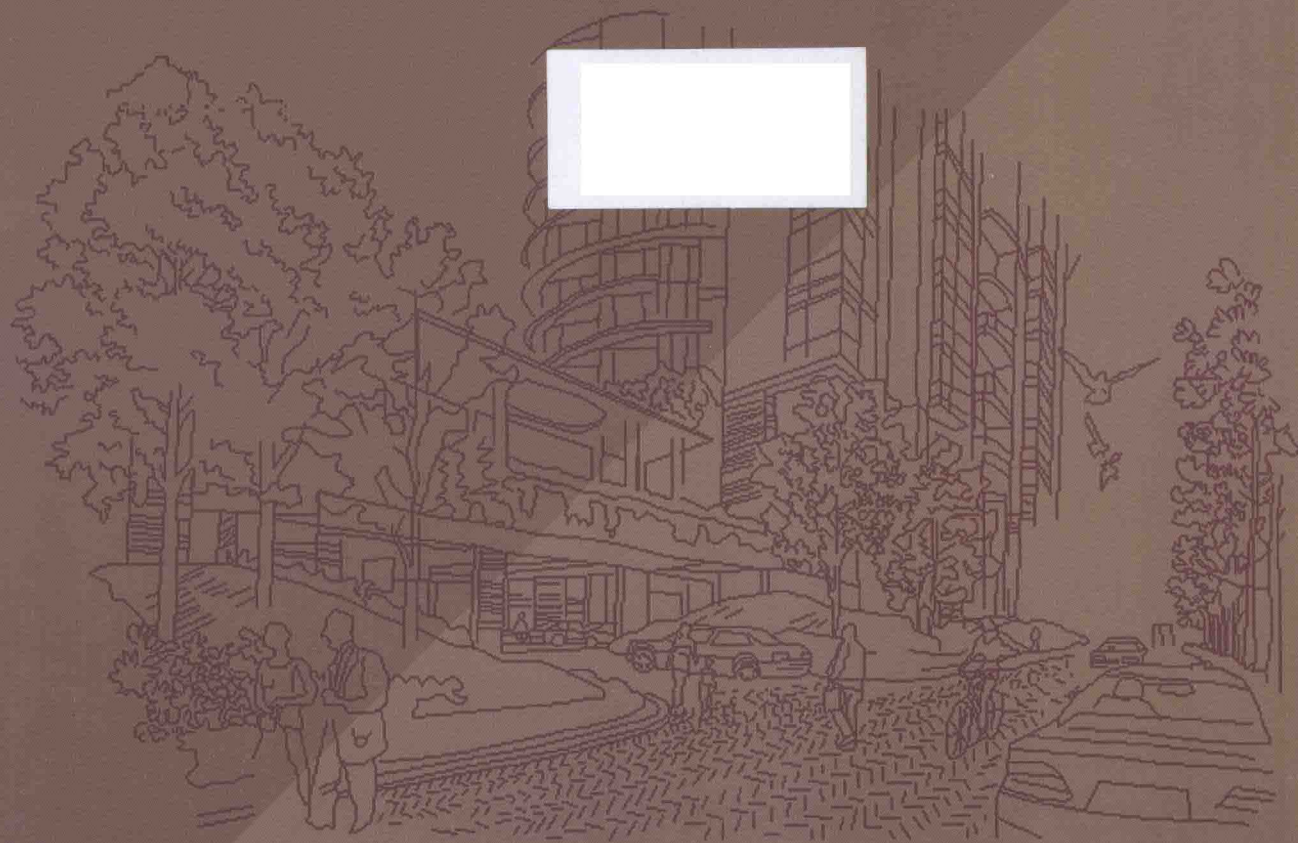
| 土建类 |
高职高专创新型
规划教材

土木工程测量

主编 ■ 祁丛林 龚新亚

Tumu Gongcheng
Celiang

东南大学出版社



土木工程测量

主 编 祁丛林 龚新亚
副主编 钱新文 杨晓文 王国芳

东南大学出版社
· 南京 ·

内容提要

本教材按照最新测量工作规范编写,采用项目化设计思路,强调学用结合是本教材的特点。

本教材共8个项目,33个任务小节。主要内容包括土木工程测量基础知识、水准测量、角度测量、距离测量、控制测量、地形图测绘与应用、建筑工程测量、道路桥梁工程测量等。每个项目都包括教学目标、理论知识、任务实施、项目小结、习题等环节,具有较强的针对性和实用性。

本教材适用于高职高专院校土建类专业,也可供相关工程技术人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

土木工程测量 / 祁丛林, 龚新亚主编. —南京: 东南大学出版社, 2014. 7

ISBN 978-7-5641-4917-8

I. ①土… II. ①祁… ②龚… III. ①土木工程—工程测量—
高等职业教育—教材 IV. ①TU198

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 093211 号

土木工程测量

出版发行: 东南大学出版社

社 址: 南京市四牌楼 2 号 邮编: 210096

出 版 人: 江建中

责任编辑: 史建农 戴坚敏

网 址: <http://www.seupress.com>

电子邮箱: press@seupress.com

经 销: 全国各地新华书店

印 刷: 常州市武进第三印刷有限公司

开 本: 787mm×1092mm 1/16

印 张: 16.75

字 数: 429 千字

版 次: 2014 年 7 月第 1 版

印 次: 2014 年 7 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-5641-4917-8

印 数: 1—3000 册

定 价: 37.00 元

本社图书若有印装质量问题,请直接与营销部联系。电话:025-83791830

高职高专土建系列规划教材编审委员会

顾 问 陈万年

主 任 成 虎

副主任 (以拼音为序)

方达宪 胡朝斌 庞金昌 史建农

汤 鸿 杨建华 余培明 张珂峰

秘书长 戴坚敏

委 员 (以拼音为序)

戴望炎 党玲博 董丽君 付立彬

龚新亚 顾玉萍 李红霞 李 芸

刘 颖 马 贻 漆玲玲 祁丛林

王凤波 王宏俊 王 辉 吴冰琪

吴龙生 吴志红 夏正兵 项 林

徐士云 徐玉芬 于 丽 张成国

张小娜 张晓岩 朱祥亮 朱学佳

左 杰

序

东南大学出版社以国家 2010 年要制定、颁布和启动实施教育规划纲要为契机,联合国内部分高职高专院校于 2009 年 5 月在东南大学召开了高职高专土建类系列规划教材编写会议,并推荐产生教材编写委员会成员。会上,大家达成共识,认为高职高专教育最核心的使命是提高人才培养质量,而提高人才培养质量要从教师的质量和教材的质量两个角度着手。在教材建设上,大会认为高职高专的教材要与实际相结合,要把实践做好,把握好过程,不能通用性太强,专业性不够;要对人才的培养有清晰的认识;要弄清高职院校服务经济社会发展的特色类型与标准。这是我们这次会议讨论教材建设的逻辑起点。同时,对于高职高专院校而言,教材建设的目标定位就是要凸显技能,摒弃纯理论化,使高职高专培养的学生更加符合社会的需要。紧接着在 10 月份,编写委员会召开第二次会议,并规划出第一套突出实践性和技能性的实用型优质教材,在这次会议上大家对要编写的高职高专教材的要求达成了如下共识:

一、教材编写应突出“高职、高专”特色

高职高专培养的学生是应用型人才,因而教材的编写一定要注重培养学生的实践能力,对基础理论贯彻“实用为主,必需和够用为度”的教学原则,对基本知识采用广而不深、点到为止的教学方法,将基本技能贯穿教学的始终。在教材的编写中,文字叙述要力求简明扼要、通俗易懂,形式和文字等方面要符合高职教育教和学的需要。要针对高职高专学生抽象思维能力弱的特点,突出表现形式上的直观性和多样性,做到图文并茂,以激发学生的学习兴趣。

二、教材应具有前瞻性

教材中要以介绍成熟稳定的、在实践中广泛应用的技术和以国家标准为主,同时介绍新技术、新设备,并适当介绍科技发展的趋势,使学生能够适应未来技术进步的需要。要经常与对口企业保持联系,了解生产一线的第一手资料,随时更新教材中已经过时的内容,增加市场迫切需求的新知识,使学生在毕业时能够适合企业的要求。坚决防止出现脱离实际和知识陈旧的问题。在内容安排上,要考虑高职教育的特点。理论的阐述要限于学生掌握技能的需要,不要囿于理论上的推导,要运用形象化的语言使抽象的理论易于为学生认识和掌握。对于实践性内容,要突出操作步骤,要满足学生自学和参考的需要。在内容的选择上,要注意反映生产与社会实践中的实际问题,做到有前瞻性、针对性和科学性。

三、理论讲解要简单实用

将理论讲解简单化,注重讲解理论的来源、出处以及用处,以最通俗的语言告诉学生所学的理论从哪里来用到哪里去,而不是采用烦琐的推导。参与教材编写的人员都具有丰富的课堂教学经验和一定的现场实践经验,能够开展广泛的社会调查,能够做到理论联系实际,并且强化案例教学。

四、教材重视实践与职业挂钩

教材的编写紧密结合职业要求,且站在专业的最前沿,紧密地与生产实际相连,与相关专业的市场接轨,同时,渗透职业素质的培养。在内容上注意与专业理论课衔接和照应,把握两者之间的内在联系,突出各自的侧重点。学完理论课后,辅助一定的实习实训,训练学生实践技能,并且教材的编写内容与职业技能证书考试所要求的有关知识配套,与劳动部门颁发的技能鉴定标准衔接。这样,在学校通过课程教学的同时,可以通过职业技能考试拿到相应专业的技能证书,为就业做准备,使学生的课程学习与技能证书的获得紧密相连,相互融合,学习更具目的性。

在教材编写过程中,由于编著者的水平和知识局限,可能存在一些缺陷,恳请各位读者给予批评斧正,以便我们教材编写委员会重新审定,再版的时候进一步提升教材质量。

本套教材适用于高职高专院校土建类专业,以及各院校成人教育和网络教育,也可作为行业自学的系列教材及相关专业用书。

高职高专土建系列规划教材编审委员会

前 言

土木工程测量是高职高专建筑工程技术、工程造价、建筑工程管理、道路桥梁工程技术等专业的一门重要的专业基础课,是一门操作性较强的课程。教材根据这些专业对本课程的要求以及最新技术标准编写。全书包括土木工程测量基础知识、水准测量、角度测量、距离测量和直线定线、控制测量、地形图测绘与应用、建筑工程测量以及道路桥梁工程测量等内容。

本教材具有三大特点:其一,教材编写采取校企合作,教材内容充分体现了“必需、够用”原则和能力本位思想,整合教材内容,优化教材结构,突出测量员职业能力训练和职业素养培养的中心地位。其二,本书具有较强的实用性和针对性,体例新颖,按照项目化设计思路编写教学内容,各部分内容编有教学目标、项目内容、项目实施、项目小结以及习题。内容精练,叙述准确,通俗易懂。其三,本书按最新测量工作规范编写,取材恰当,体系科学,直观易学,体现了科学性、先进性和实用性的有机统一,并将测量员的考证内容融入其中。

本教材由硅湖职业技术学院组织相关院校和建筑企业共同编写,由祁丛林任主编。具体分工为:硅湖职业技术学院祁丛林编写项目 1、2,杨晓文编写项目 3、4,钱新文编写项目 5、8;无锡南洋职业技术学院龚新亚编写项目 6;昆山市国芳工程项目管理有限公司王国芳编写项目 7。全书由祁丛林统稿。

由于编者水平有限,书中错漏难免,恳请读者指正。

编 者

2014 年 6 月

目 录

项目 1 土木工程测量基础知识	1
任务 1 土木工程测量基础知识	1
任务 2 用水平面代替水准面的限度	5
任务 3 测量误差	7
任务 4 土木工程测量工作概述	12
项目小结	14
习题	15
项目 2 水准测量	16
任务 1 水准测量原理	16
任务 2 水准测量的仪器和工具	18
任务 3 水准测量方法	25
任务 4 水准测量成果计算	30
任务 5 水准仪的检验与校正	34
任务 6 水准测量误差及注意事项	38
项目小结	40
习题	40
项目 3 角度测量	44
任务 1 经纬仪测量角度原理	44
任务 2 经纬仪使用方法	52
任务 3 经纬仪检验与校正	62
任务 4 角度测量误差及注意事项	67
项目小结	70
习题	70
项目 4 距离测量	74
任务 1 钢尺量距	74
任务 2 视距测量	81
任务 3 光电测距	83
项目小结	85
习题	85
项目 5 控制测量	88
任务 1 控制测量概述	88

任务 2 导线测量	93
任务 3 小三角测量	111
任务 4 交会定点	117
任务 5 高程控制测量	122
项目小结	128
习题	129
项目 6 地形图测绘与应用	133
任务 1 地形图的基本知识	134
任务 2 大比例尺地形图的测绘	153
任务 3 地形图的应用	161
项目小结	173
习题	174
项目 7 建筑工程测量	177
任务 1 建筑场区的施工控制测量	177
任务 2 民用建筑施工测量	183
任务 3 高层建筑施工测量	194
任务 4 塔形构筑物施工测量	203
任务 5 工业厂房施工测量	205
任务 6 建筑物的竣工测量与变形监测	212
项目小结	222
习题	223
项目 8 道路桥梁工程测量	226
任务 1 道路工程测量	226
任务 2 桥梁工程测量	243
项目小结	254
习题	255
参考文献	257

项目 1 土木工程测量基础知识

教学目标



知识目标:

1. 了解测量学的定义和内容,了解测量学的分支学科;
2. 理解测量工作的基准面和基准线,掌握确定地面点位的方法,掌握测量工作的三项基本内容;
3. 理解测量误差的基本概念;
4. 了解测量工作的程序和组织原则;
5. 了解测量人员应具备的基本素质,增强对本学科的学习兴趣。

技能目标:

1. 能进行地面上两点之间的高差计算,会正确识读建筑物标高;
2. 会进行测量误差的分析和计算工作。

素质目标:

具有正确的学习目的和学习态度,养成勤奋好学、刻苦钻研、勇于探索、不断进取的良好习惯,培养良好的创新意识与团队合作精神。

学习方法



结合实践活动进行学习。本项目的学习可以通过学校集体组织或学生自主安排的见习活动,了解实际工程中的测量工作,增强对测量工作在实际工程中重要性的认识。

任务 1 土木工程测量基础知识

【理论知识】

测量学是研究地球的形状和大小以及确定地面(包括空中、地下和海底)点位的科学。按照研究范围和对象的不同,产生了许多分支学科,如普通测量学、大地测量学、摄影测量学、海洋测量学、工程测量学等。

测量学的内容包括测绘和测设两个部分。测绘是指应用测量仪器和工具,通过测量和计

算得到一系列测量数据,或将地球表面的地物和地貌缩绘成地形图,供经济建设、规划设计、科学研究和国防建设使用。测设是指应用测量仪器和工具把图纸上规划设计好的建筑物、构筑物的位置依据规定精度在地面上标定出来,作为施工的依据。

土木工程测量工作是指在工程建设中进行的测绘和测设工作。

一、土木工程测量的任务和作用

从本质上讲,工程测量学就是确定地面目标在三维空间的位置以及随时间的变化,直接服从和服务于工程建设。

土木工程测量是直接为工程建设服务的,其任务是按照工程建设需求测绘各种比例尺地形图,为工程建设提供定位和定向服务,管理开发土地、建立工程控制网、进行施工放样、辅助设备安装、监测建筑物变形以及为工程竣工服务等。它的服务和应用范围包括城建、地质、铁路、交通、房地产管理、水利电力、能源、航天和国防等各种工程建设部门。

二、土木工程测量在工程建设中的应用

在勘察设计的各个阶段,要求测绘各种比例尺的地形图,供城镇规划、选择厂址、管道及交通线路选线以及总平面图设计和竖向设计之用。

在施工阶段,要将设计的建筑物、构筑物的平面位置和高程测设于实地,以便进行施工。

施工结束后,还要进行竣工测量,绘制竣工图,供日后扩建和维修之用。

在运营管理阶段,对某些大型及重要的建筑物和构筑物还要进行变形观测,以保证建筑物的安全使用,其观测成果是验证设计理论和检验施工质量的重要资料。

对于建筑工程技术等建设类专业的学生,学习完本课程后,要求掌握普通测量学的基本知识和基础理论,能学会操作各种常见测量仪器,了解大比例尺地形图的成图方法及应用,能熟练进行各种施工测量。

三、地面点位的确定

无论是测定还是测设,测量学的基本问题都是确定点位。其内容包括点的平面位置和高程,而点的位置是相对而言的,必须用坐标来表示,如平面位置可以用平面直角坐标 (x, y) 来表示,空间位置可以用空间坐标来表示。

(一) 地球的形状和大小

进行测量工作,必须首先建立坐标系。由于地球具有广阔的表面,在其上建立坐标系,必须选择有利于数据处理、能够统一坐标计算的基准面。这样的基准面应当具备两个基本条件:第一,其形状、大小能与地球形体相当;第二,必须是一个能用几何方程式描述的规则数学面。

地球的自然表面是很不规则的,其上有高山、深谷、丘陵、平原、江湖、海洋等。最高处位于我国和尼泊尔交界的珠穆朗玛峰,高出海平面 8 848 m;最深处位于太平洋西侧的马里亚纳海沟,低于海平面 11 022 m,其相对高差不足 20 km,与地球的平均半径 6 371 km 相比,是微不足道的。就整个地球表面而言,陆地面积仅占 29%,而海洋面积占了 71%。因此,我们可以设想地球的整体形状是被海水包围的球体,静止的海水面称为水准面。与水准面相切的平面称为水平面。在地球重力场中水准面处处与重力方向正交,重力的方向线称为铅垂线,铅垂线是测量工作的基准线。由于海水受潮汐风浪等影响而时高时低,故水准面有无穷多个,其中与平均海水面相吻合并向大陆、岛屿内延伸而形成的闭合曲面称为大地水准面。大地水准面是测量工作的基准面,由大地水准面所包围的形体称为大地体,通常用大地体来代表地球的真实形状和大小。

由于地球内部质量分布不均匀,致使地面上各点的铅垂线方向产生不规则变化,所以,大地水准面是一个不规则的无法用数学式表述的曲面(见图 1-1(a)),在这样的面上是无法进行测量数据的计算及处理的。因此人们进一步设想,用一个与大地体非常接近的又能用数学式表述的规则球体即地球椭球来代替地球的形状作为测量计算工作的基准面(见图 1-1(b))。它是整个椭圆绕其短轴旋转而成的形体,故地球椭球又称旋转椭球。如图 1-2 所示,旋转椭球体的形状和大小由椭球基本元素确定,即由长半径 a (或短半径 b)和扁率 α 所决定。我国目前采用的元素值为: $a=6\,378\,140\text{ m}$,扁率 $\alpha=1:298.257$,并选择陕西泾阳县永乐镇某点为大地原点,进行了大地定位。由此而建立起来的全国统一坐标系,也是目前使用的“1980 年国家大地坐标系”。

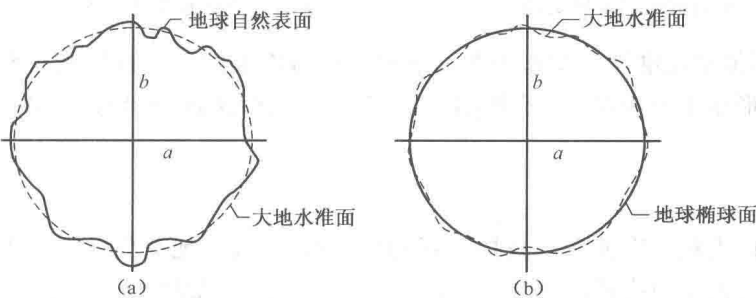


图 1-1 大地水准面

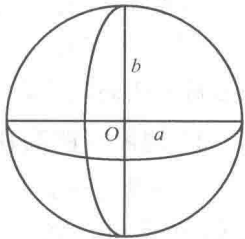


图 1-2 旋转椭球体

由于地球的扁率很小,因此当测区范围不大时,可近似地把地球椭球作为圆球,其半径为 6 371 km。

(二) 确定地面点位的方法

测量工作的基本任务是确定地面点的位置。确定地面点的空间位置通常用 3 个量,即该点的二维球面坐标或投影到平面上的二维平面坐标,以及该点到大地水准面的铅垂距离,也就是确定地面点的坐标和高程。

1) 地面点在投影面上的坐标

地面点在地球椭球面上的坐标一般用球面坐标经度 L 和纬度 B 表示,为了使用方便,常采用平面直角坐标系来表示地面点位,独立平面直角坐标系和高斯平面直角坐标系是常用的两种平面直角坐标系。

大地水准面虽是曲面,但当测量区域(如半径不大于 10 km 的范围)较小时,可以用测区中心点 a 的切平面来代替曲面(见图 1-3),地面点在投影面上的位置就可以用平面直角坐标来确定。测量工作中采用的平面直角坐标如图 1-4 所示。规定南北方向为纵轴,并记为 x 轴, x 轴向北为正,向南为负;以东西方向为横轴,并记为 y 轴, y 轴向东为正,向西为负。地面上某点 P 的位置可用 x_P 和 y_P 来表示。平面直角坐标系中象限按顺时针方向编号, x 轴与 y 轴互换,这与数学上的规定是不同的,其目的是为了定向方便,将数学中的公式直接应用到测量计算中,不需作任何变更。原点 O 一般选在测区的西南角(见图 1-4),使测区内各点的坐标均为正值。

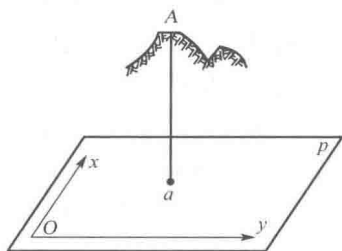


图 1-3 用测区中心点 a 的切平面来代替曲面

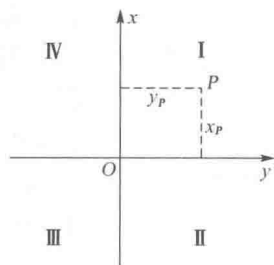


图 1-4 平面直角坐标系

当测区范围较大时,就不能把水准面当做水平面。把地球椭球面上的图形展绘到平面上来,必然产生变形,为使其变形小于测量误差,必须采用恰当的方法来解决这个问题,测量工作中通常采用高斯投影方法。

2) 地面点的高程

在一般的测量工作中都以大地水准面作为高程起算的基准面。因此,地面任一点到大地水准面的铅垂距离就称为该点的绝对高程或海拔,简称高程,用 H 表示。如图 1-5 所示,图中的 H_A 、 H_B 分别表示地面上 A 、 B 两点的高程。目前,我国采用的是 1987 年开始启用的“1985 年国家高程基准”。它是根据青岛验潮站 1952—1979 年间的验潮资料计算确定的黄海平均海水面(其高程为零)作起算面的高程系统,并在青岛建立了水准原点。水准原点的高程为 72.260 m,全国各地的高程都以它为准进行测算。

当测区附近暂没有国家高程点可联测时,也可临时假定一个水准面作为该区的高程起算

面。地面点到假定水准面的铅垂距离,称为该点的相对高程或假定高程。如图 1-6 中的 H'_A 、 H'_B 分别为地面上 A、B 两点的假定高程。

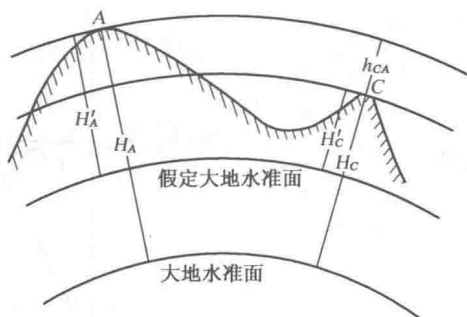


图 1-5 地面点的绝对高程

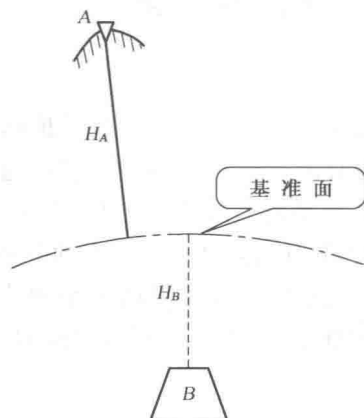


图 1-6 地面点的假定高程

地面上两点之间的高程之差称为高差,用 h 表示。例如,A 点至 B 点的高差为

$$h_{AB} = H_B - H_A \quad (1-1)$$

由上式可知,高差有正、有负,并用下标注明其方向,两点间的高差与高程的起算面无关。当 h_{AB} 为正时,B 点高于 A 点;当 h_{AB} 为负时,B 点低于 A 点。

B 点至 A 点的高差为

$$h_{BA} = H_A - H_B \quad (1-2)$$

可见 A、B 两点的高差与 B、A 两点的高差绝对值相等,符号相反,即 $h_{AB} = -h_{BA}$ 。在土木建筑工程中,又将绝对高程和相对高程统称为标高,常以首层室内地坪作为该建筑的高程起算面,称为“±0”,其他各部位的标高都是相对“±0”而言的。

【任务实施】

安排学生课后查阅珠穆朗玛峰的几次高程测量的方法及过程,帮助理解绝对高程、相对高程、高差等概念;安排学生查阅当地地图或工程施工图,帮助理解确定平面位置的意义。

任务 2 用水平面代替水准面的限度

【理论知识】

当测区范围较小时,用水平面代替水准面所产生的误差不超过测量误差的容许范围时,可以把水准面看作水平面。探讨用水平面代替水准面对距离、角度和高差的影响,以便给出水平面代替水准面的限度。

一、对距离的影响

如图 1-7 所示, A、B、C 是地面点, 它们在大地上水准面上的投影是 a 、 b 、 c , 用该区域中心点的切平面代替大地水准面后, 地面点在水平面上的投影点是 a' 、 b' 、 c' , 现分析由此而产生的影响。设 A、B 两点在水准面上的距离为 D , 在水平面上的距离为 D' , 两者之差 ΔD , 就是用水平面代替水准面所引起的距离差异。在推导公式时, 近似将大地水准面视为半径为 R 的球面, 则有

$$\Delta D = D' - D = R(\tan\theta - \theta) \quad (1-3)$$

取地球半径 $R=6\,371\text{ km}$, 当距离 D 取不同的值时, 则得到不同的 ΔD 和 $\Delta D/D$, 其结果列入表 1-1 中。

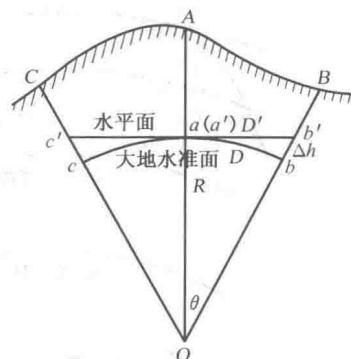


图 1-7 用水平面代替水准面

表 1-1 水平面代替水准面对距离的影响

$D(\text{km})$	$\Delta D(\text{cm})$	$\Delta D/D$
10	0.8	1 : 1 200 000
20	6.6	1 : 300 000
50	102.6	1 : 49 000
100	821.2	1 : 12 000

从表 1-1 可以看出, 当 $D=10\text{ km}$ 时, 所产生的相对误差为 1 : 1 200 000, 这样小的误差, 对精密量距来说也是允许的。因此, 在以 10 km 为半径的圆面积之内进行距离测量时, 可以把水准面当做水平面看待, 即可不考虑地球曲率对距离的影响。

二、对高程的影响

在图 1-7 中, 地面点 B 的高程应是铅垂距离 bB , 如果用水平面作基准面, 则 B 点的高程为 $b'B$, 两者之差即为对高程的影响。经推算可得

$$\Delta h = R\left(1 + \frac{\theta^2}{2} - 1\right) = \frac{D^2}{2R} \quad (1-4)$$

取地球半径 $R=6\,371\text{ km}$, 用不同的距离 D 代入式(1-4), 其结果列入表 1-2 中。

表 1-2 水平面代替水准面对高程的影响

$D(\text{km})$	0.2	0.5	1	2	3	4	5
$\Delta h(\text{cm})$	0.31	2	8	31	71	125	

从表 1-2 可以看出,用水平面作基准面对高程的影响是很大的,例如距离为 200 m 时,就有 0.31 cm 的高差误差。因此,就高程测量而言,即使距离很短,也应用水准面作为测量的基准面,即应顾及地球曲率对高程的影响。

任务 3 测量误差

【理论知识】

观测仪器、观测者和外界条件三方面的综合,称为观测条件。观测结果的质量与观测条件的好坏有密切关系。观测条件好些,观测产生的测量误差就可能小些,观测结果的质量就会高些;反之,观测结果的质量就会低些。

当观测条件相同时,观测结果的质量可以认为相同。在相同的观测条件下进行的一组观测,称为等精度观测;在不同观测条件下进行的一组观测,称为不等精度观测。某一被测量对象的真实值与测量值之差称为测量误差。

一、测量误差概述

实践表明,对某一被观测对象(如角度、距离、高差等)进行多次重复观测,不论仪器多么精密、观测者多么仔细,得到的各次观测值之间都会有差异。如测量一段距离,往返两次测量的结果往往不一致。

(一) 测量误差产生的原因

测量误差产生的原因有多种,可概括为观测仪器、观测者和外界条件三个方面。

(1) 观测仪器:由于制造工艺上的局限,仪器往往存在结构缺陷和精度限制,或仪器轴线间的几何关系达不到设计要求等。如用来测量长度的尺子,其标记的长度并不是尺子的真实长度。

(2) 观测者:观测者的素质差异和感觉器官的鉴别能力有强弱,其在仪器安置、目标瞄准、数据估读等方面都会产生测量误差。

(3) 外界条件:观测时所处的外界环境,如气压、温度、风力、大气透明度、大气折光等自然条件,也会带来测量误差。例如,温度的变化会使钢尺长度发生细微的变化,致使测量的结果

带有因为尺长变化而引起的误差。

(二) 测量误差的分类

各种因素引起的测量误差,按其观测结果影响的性质,可分为系统误差和偶然误差两类。

(1) 系统误差:在相同的观测条件下进行一系列的观测,如果误差在大小和符号上表现出一致的倾向,或者按一定的规律变化,或者保持为常数,则称这种误差为系统误差。系统误差在观测结果中具有累积的性质,影响较为显著,所以必须设法把系统误差从观测结果中消除,或减小到可以忽略不计的程度。

系统误差是由于仪器构造上的缺陷或校正不完善、观测者的生理习性以及外界条件(如温度变化、大气折光)等因素引起的。如果对观测条件加以分析,一般可以了解系统误差的存在方式,而设法将其消除。例如,用名义长为 30 m 的钢尺,在标准的拉力和温度下,量得某直线的长度为 90 m。但对钢尺加以检定后,发现其实际长度为 30.012 m,即每一整尺有 12 mm 的尺长误差,三个整尺累积为 36 mm。我们可以对测量结果加入尺长改正数 +36 mm,可得直线实际长为 90.036 m,这样就可消除这一系统误差。

(2) 偶然误差:在相同的观测条件下进行一系列的观测,如果误差在大小和符号上都表现出偶然性,即从单个误差来看,其大小和符号没有规律,但就大量误差的总体来看,具有一定的统计规律。这种误差称为偶然误差,也叫随机误差。

偶然误差的产生,是由仪器的精密度和观测者感觉器官的局限,以及外界条件的随机变化引起的。这种误差的大小和正负是无法预知的,所以属于偶然误差。

在观测中,系统误差和偶然误差往往是同时产生的。当系统误差设法被消除或减弱后,决定观测精度的关键是偶然误差。

测量过程中还可能出现错误(粗差),例如,记数时把“6”误记成“9”,甚至弄错点号等。错误不属于误差,它是由于测量工作中人为的疏忽大意造成的,所以,错误是绝对不允许的。

(三) 偶然误差的特性

对于单个的偶然误差,其大小和符号无规律可循,但对于大量的偶然误差而言,具有一定的统计规律,即在相同观测条件下,对某量进行一系列观测,其偶然误差具有如下特性:

- (1) 偶然误差的绝对值不会超过一定的限值。
- (2) 绝对值小的偶然误差比绝对值大的偶然误差出现的机会多。
- (3) 绝对值相等的正误差和负误差出现的机会相等。
- (4) 偶然误差的算术平均值随着观测次数的无限增加而趋近于零。

从偶然误差的特性可以看出,在大量观测中偶然误差可以相互抵消。所以,我们应该选择合适的仪器和测量方法,在较为有利的观测条件下进行多次观测,最后采用取平均值的方法来消除或减小偶然误差对观测结果的影响。