

建筑工程
技术专业

高职高专规划教材

JIANZHU GONGCHENG CELIANG

建筑工程测量

李会青 主 编
荣延祥 副主编
黄兆康 主 审



化学工业出版社

建筑工程
技术专业

高职高专规划教材

JIANZHU GONGCHENG CELIANG

建筑工程测量

李会青 主 编
荣延祥 副主编
黄兆康 主 审



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书是建筑工程技术专业系列教材之一,依据最新国家标准《工程测量规范》(GB 50026—2007),结合本专业的教学改革和行业发展编写完成。全书分8个单元,内容包括建筑工程测量的基础知识、高程测量、坐标测量、GPS定位技术、大比例尺地形图测绘和应用、建筑施工测量、建筑物变形观测及竣工图测绘。每单元附有思考与练习题,另外还附有建筑工程测量能力训练,可以作为课程评价的参考。

本书可作为高职高专建筑工程技术专业及相关专业教材,也可作为成人教育土建类及相关专业的教材,还可供从事建筑工程等技术工作的人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

建筑工程测量/李会青主编. —北京:化学工业出版社, 2010.8

高职高专规划教材

ISBN 978-7-122-08536-8

I. 建… II. 李… III. 建筑测量-高等学校:技术学院-教材 IV. TU198

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第129368号

责任编辑:卓丽 李仙华 王文峡

文字编辑:韩亚南

责任校对:周梦华

装帧设计:尹琳琳

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印装:三河市延风印装厂

787mm×1092mm 1/16 印张10 $\frac{1}{4}$ 字数245千字 2010年9月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:20.00元

版权所有 违者必究

前言

本教材依据教育部《高职高专教育土建类专业人才培养规格和课程体系改革、建设的研究与实践》课题所取得的研究成果,以职业岗位能力分析为基础选取编排课程内容,关注专业的改革和行业发展,关注工程应用能力的培养,力争做到简明实用。

电子技术、计算机技术、通信技术的飞速发展,尤其是全站仪和 GPS 的广泛应用,给建筑工程测量带来巨大变化,因此需要新的理念与之适应,本教材试图将这种理念蕴含其中。建筑工程测量的主要任务是测图、放线、变形观测,利用全站仪或 GPS 可以直接测量点的三维坐标 (x,y,H) ,有了三维坐标可以绘图,也可以进行建筑物变形观测,从 AutoCAD 界面根据设计图可以获取点的三维坐标作为定位放线和高程控制的依据。即使是坐标正反算,也可以通过 AutoCAD 画线并显示其属性完成。但传统的测量技术简单实用,仍在广为使用,在本教材中也得到充分体现。

本教材吸收了近年来教学改革和行业发展的阶段性成果,借鉴了同类教材的相关内容。在编排次序上进行了调整,注重系统性、条理性。在内容上,既注重新技术、新方法的引进,又坚持“够用为度”的标准。同时内容通俗易懂,实用性强。

本书由深圳职业技术学院李会青主编(第 1、3、7 单元),参加编写的还有深圳地质工程有限公司荣延祥(第 5 单元)、河南建筑职业技术学院郑日忠(第 4、8 单元)和泰州职业技术学院袁学锋(第 2、6 单元)。全书由李会青统稿。

广西建设职业技术学院黄兆康教授担任本书主审,提出了许多宝贵意见,在此表示感谢!

由于编者水平有限,书中难免有疏漏之处,恳请读者批评指正。

编者

2010 年 7 月

目录

单元① 基础知识

1

1.1 建筑工程测量的任务	1
1.1.1 测图	1
1.1.2 放线	1
1.1.3 变形观测	2
1.1.4 点位与建筑工程测量任务的关系	2
1.2 地面点位的确定	2
1.2.1 地球的形状与大小	2
1.2.2 地面点的高程	2
1.2.3 独立平面直角坐标系	3
1.2.4 高斯平面直角坐标系	3
1.2.5 常用基本概念	5
1.3 测量误差的基本知识	6
1.3.1 误差的定义	6
1.3.2 误差产生的原因	6
1.3.3 误差分类、特性及消减措施	6
1.3.4 精度指标	7
1.3.5 测量工作的程序和原则	8
【思考与练习】	8

单元② 高程测量

10

2.1 水准测量	10
2.1.1 水准测量的原理	10
2.1.2 水准测量的仪器和工具	11
2.1.3 水准仪的使用	14
2.1.4 水准测量的实施	15
2.1.5 水准测量的成果计算	18
2.1.6 三、四等水准测量	20
2.2 三角高程测量	22
2.2.1 三角高程测量的原理	22
2.2.2 光学经纬仪的构造及度盘读数	23
2.2.3 经纬仪的使用与竖直角测量	25
2.2.4 三角高程测量的实施	29
2.3 高程测量中的误差及注意事项	29

2.3.1 水准测量中的误差及注意事项	29
2.3.2 三角高程测量中的误差及注意事项	30
能力训练 2-1 水准仪测量能力评价	30
能力训练 2-2 三角高程测量能力评价	31
【思考与练习】	32

单元③ 坐标测量

34

3.1 坐标计算与极坐标法	35
3.1.1 直线的长度与方向	35
3.1.2 坐标正反算	35
3.1.3 极坐标法	35
3.2 水平角测量	36
3.2.1 测回法	36
3.2.2 方向观测法	36
3.3 距离测量	38
3.3.1 钢尺量距	38
3.3.2 电磁波测距	41
3.3.3 视距测量	43
3.4 全站仪	44
3.4.1 全站仪的特点	44
3.4.2 全站仪的使用	45
3.5 交会定点	49
3.5.1 前方交会法	49
3.5.2 距离交会法	49
3.6 导线测量	50
3.6.1 导线的布设形式	50
3.6.2 导线测量的等级与技术要求	51
3.6.3 导线测量的外业工作	51
3.6.4 导线测量的内业计算	52
3.7 坐标测量中的误差及注意事项	56
3.7.1 水平角测量中的误差及注意事项	56
3.7.2 水平距离测量中的误差及注意事项	57
能力训练 3-1 水平角测量能力评价	57
能力训练 3-2 全站仪坐标测量能力评价	58
【思考与练习】	59

单元④ GPS 定位及应用

62

4.1 GPS 基础知识	62
4.1.1 GPS 定位系统的概念及组成	62
4.1.2 GPS 定位的基本原理	63

4.1.3 GPS 定位系统的特点	64
4.2 GPS 静态定位	64
4.2.1 GPS 定位的技术设计	64
4.2.2 GPS 测量的外业准备及技术设计书编写	68
4.2.3 GPS 测量外业实施	69
4.3 GPS RTK 技术	71
4.3.1 GPS 差分 RTK (real time kinematic) 技术	71
4.3.2 GPS 网络 RTK 技术	72
【思考与练习】	75

单元⑤ 大比例尺地形图测绘

76

5.1 地形图的基本知识	76
5.1.1 地形图的比例尺	76
5.1.2 地形图的图外注记	77
5.1.3 地物、地貌的表示方法	77
5.2 测图前的准备工作	82
5.2.1 收集资料	82
5.2.2 现场踏勘考察	82
5.2.3 编写技术设计书	82
5.2.4 人员和设备准备	83
5.3 控制测量	83
5.3.1 图根平面控制测量	83
5.3.2 图根高程控制	84
5.4 野外数据采集	84
5.4.1 碎部点的选择	85
5.4.2 全站仪数据采集	85
5.4.3 RTK 野外数据采集	86
5.5 成图软件与地形图绘制	87
5.5.1 数据传输	87
5.5.2 内业成图	88
5.6 检查验收	98
5.6.1 检查	98
5.6.2 检查验收报告	98
5.6.3 技术总结	98
能力训练 地形图测绘能力评价	99
【思考与练习】	100

单元⑥ 地形图应用

101

6.1 地形图的基本应用	101
6.1.1 求点的坐标	101

6.1.2 确定两点间的水平距离	102
6.1.3 求直线的方位角	103
6.1.4 确定点的高程	103
6.1.5 求两点间的坡度	103
6.1.6 计算面积	103
6.2 地形图工程应用	105
6.2.1 绘制地形断面图	105
6.2.2 按坡度选线	106
6.2.3 确定汇水范围	106
6.2.4 场地平整时土方量计算	107
6.3 数字地形图应用	110
6.3.1 利用地形图确定直线的属性	110
6.3.2 利用地形图确定图形的属性	110
能力训练 地形图应用能力评价	111
【思考与练习】	111

单元⑦

建筑施工测量

113

7.1 施工控制测量	113
7.1.1 平面控制测量	114
7.1.2 高程控制测量	114
7.2 施工放样的基本工作	114
7.2.1 水平角测设	114
7.2.2 水平距离测设	115
7.2.3 设计高程测设	116
7.2.4 设计坡度直线的测设	117
7.2.5 点的平面位置测设	117
7.3 建筑基线与建筑方格网测设	120
7.3.1 建筑基线及其测设方法	120
7.3.2 建筑方格网及其测设方法	121
7.4 民用建筑施工测量	122
7.4.1 施工测量前的准备工作	122
7.4.2 建筑物定位放线	123
7.4.3 基础施工测量	125
7.4.4 墙体施工测量	126
7.5 高层建筑施工测量	127
7.5.1 轴线投测	127
7.5.2 高层建筑的高程传递	129
7.6 工业建筑施工测量	129
7.6.1 厂房柱列轴线与柱基测设	130
7.6.2 厂房预制构件的安装测量	131
7.7 管道工程测量	133

7.7.1 中线测量	133
7.7.2 管线纵横断面测量	133
7.7.3 管道施工测量	135
7.7.4 顶管施工测量	137
7.7.5 管道竣工测量	137
能力训练 7-1 建筑物定位放线能力评价	137
能力训练 7-2 多层建筑轴线投测能力评价	138
能力训练 7-3 多层建筑高程传递能力评价	139
【思考与练习】	140

单元⑧ 建筑物变形观测及竣工总平面图的编绘

142

8.1 建筑物沉降观测	142
8.1.1 水准基点和沉降观测点的布设	143
8.1.2 沉降观测	144
8.1.3 沉降观测的成果整理	145
8.2 建筑物倾斜观测与裂缝观测	145
8.2.1 建筑物倾斜观测	145
8.2.2 建筑物的裂缝观测	147
8.3 建筑物位移观测	148
8.3.1 观测点或工作基点的确定	148
8.3.2 建筑物位移观测	148
8.4 竣工总平面图编绘	150
8.4.1 竣工测量	150
8.4.2 竣工总平面图编绘	151
能力训练 变形观测能力评价	151
【思考与练习】	152

参考文献

153

单元①

基础知识



知识目标

- 了解建筑工程测量的任务与测量工作的原则
- 理解工程测量的任务与点位坐标的关系
- 掌握地面点的坐标表示和测量误差的基础知识



能力目标

- 能正确理解与表示水平角、竖直角、高差、水平距离等
- 能正确理解建筑工程测量的坐标系统和高程系统
- 能理解与应用基本的误差理论



引子

建筑工程测量的任务是什么，完成这些任务需要哪些数据，测量中的误差有哪些，如何消除或减弱，如何评价测量成果，这是本单元要解决的问题。

1.1 建筑工程测量的任务

建筑工程测量贯穿建筑工程的勘测设计、施工、竣工运营阶段，其主要任务包括：大比例尺地形图测绘、建（构）筑物施工放线、竣工测量和建筑物变形观测。

1.1.1 测图

一般工程的勘测设计阶段需要测绘地形图，用于设计和工程量统计。工程进行期间，有时需要测绘地形图，进行工程量计算。对于隐蔽工程需及时测绘竣工图。工程竣工和运营阶段，要进行竣工测量，完成竣工图测绘。有时还要根据具体任务测绘断面图。

总之，测图就是根据工程需要，将各种地物地貌，通过外业观测和内业数据整理，按一定的比例尺绘制成地形图或竣工图、断面图等，为工程各个阶段提供必要的图纸和数据资料。

1.1.2 放线

放线是建筑物施工过程中的重要步骤，是将设计好的建筑物或构筑物，按照设计或施工的具体要求在实地标定出来，作为施工的依据。具体内容包括：建筑物定位、施工控制网测

设、轴线投测和高程控制等内容。

1.1.3 变形观测

在建筑物施工和使用阶段,为了监测其基础和结构的安全稳定状况,了解施工对周围建筑和自身的影响,必须定期对建筑物沉降、位移、倾斜等进行观测,为工程质量的鉴定、工程结构和地基基础的研究以及建筑物的安全保障提供服务。

总之,建筑工程测量在规划、建筑等领域起着不可替代的作用,是从事建筑施工及相关行业的工程技术人员的必备技能之一。

1.1.4 点位与建筑工程测量任务的关系

点位即点的三维坐标,是描绘客观世界的基础数据。确定了点的三维坐标,就可以利用绘图软件绘制出地形图、竣工图等。同样,确定了点的三维坐标,可以根据三维坐标的变化来判断建筑物的变形,从而跟踪建筑物的安全状况。对于放线而言,可以从设计图纸上取得待建建筑物的三维坐标,并以此完成建筑物放线和高度控制任务。因此,可以认为点位是建筑工程测量的重要数据,是完成建筑工程测量任务的数据载体。测量点的三维坐标可以进行测图和变形观测,从图纸上获取三维坐标是建筑物定位放线的基础工作。

1.2 地面点位的确定

点位是建筑工程测量的重要数据,为此必须确定地面点的坐标表示方法。

1.2.1 地球的形状和大小

测量是在地球表面进行的,地面点位的确定与地球的形状和大小密切相关。地球的自然表面有高山、丘陵、平原、海洋等形态,海洋面积约占地球表面的71%,陆地面积约占29%,是一个不规则曲面。假设一个静止不动的水面延伸并穿过陆地,包围整个地球,形成闭合曲面,称之为水准面;与水准面相切的平面称为水平面。在地球上重力线与水准面垂直,重力线也称为铅垂线。铅垂线是测量工作的基准线。

水准面因其高度不同有无数个,其中与平均海水面相吻合的水准面称为大地水准面,它可以近似代表地球的形状。大地水准面是测量工作的基准面。大地水准面所包围的形体称为大地体。由于地球内部质量分布不均匀,重力受其影响,致使大地水准面成为一个不规则的、复杂的曲面。如果将地球表面上的点位投影到这样一个不完全均匀变化的曲面上,在计算上是很困难的。长期测量实践表明,大地体与一个以椭圆的短轴为旋转轴的旋转椭球的形状十分相似,所以测绘工作便取大小与大地体很接近的旋转椭球作为地球形状和大小的参考,如图1-1所示。

我国目前采用的旋转椭球的参数为长半径 $a=6378140\text{m}$;短半径 $b=6356755\text{m}$;扁率 $\alpha=(a-b)/a=1/298.257$ 。

由于旋转椭球的扁率很小,在测区面积不大时,可以近似地把地球看做圆球,其半径 R 可按式计算:

$$R=(a+b)/2 \quad (1-1)$$

1.2.2 地面点的高程

地面点到大地水准面的铅垂距离称为点的高程,用 H 表示。如图1-2所示,过 A 点有且仅有一条铅垂线,该铅垂线与大地水准面有一交点 A' ,则 AA' 即为 A 点到大地水准面的

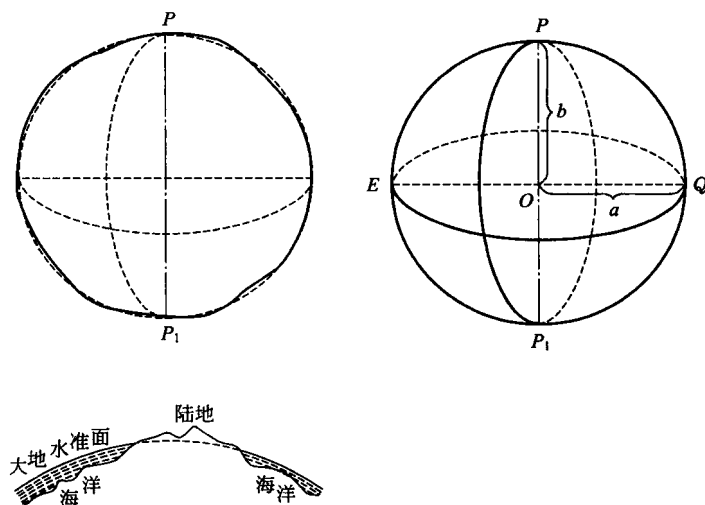


图 1-1 大地水准面与参考椭球

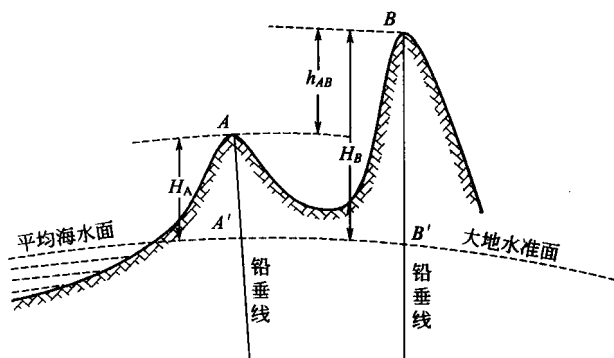


图 1-2 高程和高差

铅垂距离，用 H_A 表示。同样用 H_B 表示 B 点的高程。

我国高程系统是以青岛验潮站历年记录的黄海平均海面为基准，并在青岛建立了国家水准原点，其高程为 72.260m，称为 1985 年国家高程基准。

地面上两点高程之差称为高差，用 h 表示。 A 、 B 两点的高差为

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

1.2.3 独立平面直角坐标系

当测量的范围较小时，可以将该测区的大地水准面当做平面看待，在该平面上建立独立平面直角坐标系。如图 1-3 所示，规定 x 轴向北为正， y 轴向东为正。地面点 A 所对应的铅垂线投影点 A' 在该坐标系有坐标 (x_A, y_A) 。 A 点的三维坐标可表示成 (x_A, y_A, H_A) 。由此可知，测区内每点在平面直角坐标系中都有对应坐标，再加上高程即可以表示地面点。

独立坐标系原点通常取测区的西南角。

1.2.4 高斯平面直角坐标系

当测量的范围大时，大地水准面不能再看成平面，而是作为椭球面处理。球面上不能建立直角坐标系。为此采用投影的方法将球面变为平面，然后再建立平面直角坐标系。我国采用的是高斯投影法。

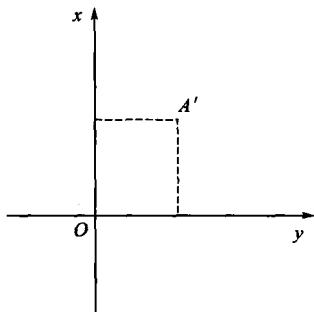


图 1-3 独立平面直角坐标系

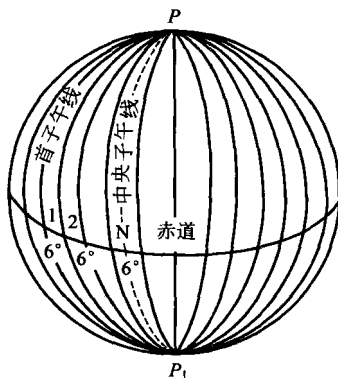


图 1-4 高斯投影分带

高斯投影方法是首先将地球按经线划分成带，称为投影带。投影带从首子午线开始，每隔 6° 划分一带（称为 6° 带），如图 1-4 所示，共划分成 60 个带。从首子午线开始自西向东编号，东经 $0^\circ \sim 6^\circ$ 为第一度带， $6^\circ \sim 12^\circ$ 为第二度带，以此类推，如图 1-5 所示。位于每一带中央的子午线称为中央子午线，第一带中央子午线的经度为 3° ，任意一带中央子午线经度为

$$\lambda_0 = 6N - 3 \quad (1-3)$$

式中 N —— 6° 带带号。

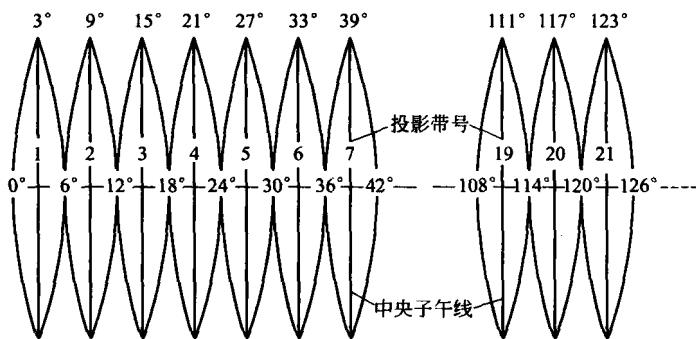


图 1-5 6° 带中央子午线及带号

采用高斯投影时，设想取一个空心圆柱与地球椭球的某一中央子午线相切，如图 1-6 所示。在地球图形与柱面图形保持等角的条件下，将球面上的图形投影到圆柱面上，然后将圆柱沿着通过南、北的母线切开并展成平面。在这个平面上，中央子午线与赤道成为互相垂直的直线，其他子午线和纬线成为曲线，如图 1-7(a) 所示。取中央子午线为坐标纵轴 X ，取赤道为坐标横轴 Y ，两轴交点 O 为坐标原点，组成高斯平面直角坐标系。

在坐标系内，规定 X 轴向北为正， Y 轴向东为正。我国位于北半球， X 坐标均为正值， Y 坐标则有正有负，如图 1-7(a) 所示， $Y_A = 1367800\text{m}$ ， $Y_B = -272126\text{m}$ 。为了避免 Y 坐标出现负值，将每带的坐标原点向西移动 500km ，如图 1-7(b) 所示，纵轴西移后， $Y_A = 500000 + 1367800 = 6367800\text{ (m)}$ ， $Y_B = 500000 - 272125 = 227875\text{ (m)}$ 。由于每个投影带中都有这样一个坐标的点，为了进行区别，在 Y 坐标前再冠以投影带带号，构成高斯实用坐标。如该两点在第 26 带中， $Y_A = 266367800\text{m}$ ， $Y_B = 26227875\text{m}$ 。在高斯投影中，离中央子午线近的部分变形小，离中央子午线愈远变形愈大，两侧对称。当要求投影变形更小时，

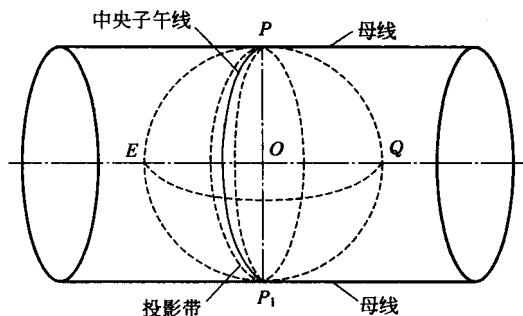


图 1-6 高斯平面直角坐标系的投影

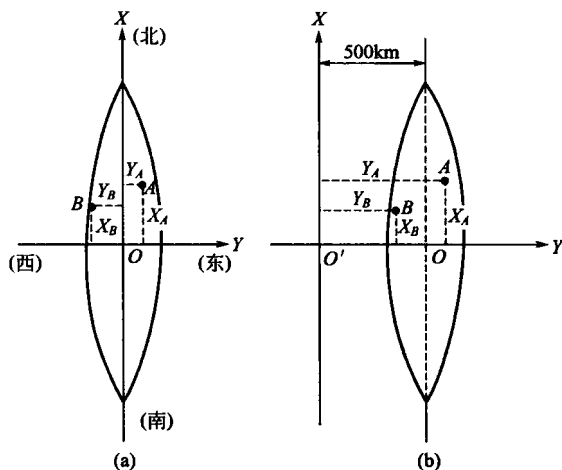


图 1-7 高斯平面直角坐标系

可采用 3° 带投影或 1.5° 带进行投影。

高斯平面直角坐标系和数学笛卡儿坐标系相比较，象限顺序不同，并赋予了统一的地理方位意义，这个变化不影响平面点线之间的数学关系。

1.2.5 常用基本概念

图 1-8 中 A 、 B 、 C 为地面上的三点，由于地面起伏，三点不在同一水平面上。 H 为水平面，过 B 有且仅有一条铅垂线，交 H 于 B' 点，同样过 A 、 C 的铅垂线交 H 与 A' 、 C' 点，则 A' 、 B' 、 C' 三点构成的水平角，为 A 、 B 、 C 三点的水平角。该角可以理解为两个铅垂面构成的二面角。

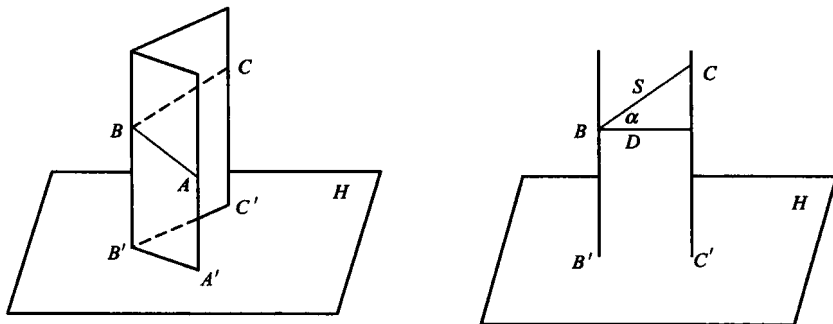


图 1-8 水平角与竖直角

竖直角是同一铅垂面内两点连线与水平线的夹角,见图 1-8 中 α 角。

图 1-8 中 B 、 C 两点之间的距离为倾斜距离,用 S 表示, B' 、 C' 两点之间的距离为 B 、 C 两点的水平距离,用 D 表示。

水平角、竖直角、高差和水平距离是工程测量的基础数据,随着全站仪在业内推广, (x, y, H) 也变成了直接测量数据。

1.3 测量误差的基本知识

1.3.1 误差的定义

对未知量进行测量的过程称为观测,测量所得到的结果即为观测值。一般情况下观测值与真值之间存在差异,如测量三角形的三个内角和,测量结果往往不等于其真值 180° ,这种差异称为测量误差。用 l 代表观测值, X 代表真值,测量误差 Δ 可用下式表示:

$$\Delta = X - l \quad (1-4)$$

测量误差是不可避免的。因此,同一角度不同人测量结果不同,同一距离不同时间丈量结果有差异。

1.3.2 误差产生的原因

测量是观测人员利用测量设备,在一定的外界条件下来完成的。所以测量误差来源于以下三个方面:观测者、测量设备和外界条件。观测者的视觉鉴别能力和技术水平会导致测量结果产生误差。同样测量设备的精密程度对测量结果也有影响,测量设备引起的误差称为仪器误差。仪器误差与测量仪器、工具的精密性相关,例如很难利用普通的量角器将一个角度的分 and 秒部分精确测量出来。外界条件的影响是指观测过程中不断变化着的大气温度、湿度、风力以及大气的能见度等给观测结果带来的误差,例如由于温度升高致使丈量距离的钢尺膨胀变长而引起的误差。

将观测者、测量设备和外界条件三者综合称为观测条件。

1.3.3 误差分类、特性及消减措施

测量误差按其产生的原因和对观测结果影响的性质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,对某一量进行一系列的观测,如果误差出现的符号和大小不变,或按一定的规律变化,这种误差称为系统误差。例如用名义长度为 30m 而实际长度为 30.005m 的钢尺量距,每量一尺段就有 0.005m 的误差,大小符号不变,而且对观测结果影响具有累积性,因此应设法消除或减弱其影响。

系统误差对观测结果的影响相对来说具有稳定性或规律性,消除或减弱的方法有两种:一是采用合理的观测方法和观测程序,限制或削弱系统误差的影响。如角度测量时,采取盘左盘右观测,水准测量时保持前后视距相等;另一种是利用系统误差产生的原因和规律对观测值进行改正,如对距离测量值进行尺长改正、温度改正等。这些在以后章节会有介绍。

(2) 偶然误差 在相同的观测条件下,对某一量进行一系列观测,如果误差出现的符号和大小从表面上看没有任何规律性,这种误差称为偶然误差。偶然误差是由人力所不能控制的因素或无法估计的因素(如人眼的分辨率等)引起的,其数值的大小、符号的正负具有偶然性。例如用望远镜照准目标,由于大气的能见度和人眼的分辨率等因素使照准时有时偏左、有时偏右。在水准标尺上读数时,估读的毫米位有时偏大、有时偏小。

从单个偶然误差来看,其符号和大小没有任何规律性。但是,当进行多次观测对大量的

偶然误差进行统计分析发现,偶然误差具有如下特性。

- ① 在一定的观测条件下,偶然误差的绝对值不会超过一定限值。
- ② 绝对值小的误差出现的频率大,绝对值大的误差出现的频率小。
- ③ 绝对值相等的正、负误差具有大致相等的频率。
- ④ 当观测次数无限增大时,偶然误差的理论平均值趋近于零,即偶然误差具有抵偿性。由于偶然误差具有抵偿性,因此增加观测次数,取其平均值可以减弱偶然误差的影响。在测量实践中有时存在读错数、记错数等情况,由此产生的错误称为粗差。粗差是应该避免的。

1.3.4 精度指标

为了衡量观测结果的优劣,必须建立一套统一的精度标准。这里主要介绍以下几种。

(1) 中误差 中误差用 m 表示,公式如下:

$$m = \pm \sqrt{\frac{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \cdots + \Delta_n^2}{n}} = \pm \sqrt{\frac{[\Delta\Delta]}{n}} \quad (1-5)$$

式中 $\Delta_1, \Delta_2, \cdots, \Delta_n$ ——测量误差;

n ——测量次数。

m 为观测值的中误差,从式(1-5)中可以看出如果测量误差大,中误差则大;测量误差小,中误差则小。一般来说中误差大,精度则低;中误差小,精度则高。

实际工作中往往不知道真值,无法计算 Δ ,所以利用观测值计算算术平均值和改正数,再利用改正数来计算中误差。如果对一个量进行 n 次观测,观测值为 $l_1, l_2, \cdots, l_n$ 。则算术平均值 l 、改正数 v 和中误差计算如下:

$$l = \frac{l_1 + l_2 + \cdots + l_n}{n} \quad (1-6)$$

$$v_i = l - l_i \quad (1-7)$$

$$m = \pm \sqrt{\frac{v_1^2 + v_2^2 + \cdots + v_n^2}{n-1}} = \pm \sqrt{\frac{[vv]}{n-1}} \quad (1-8)$$

(2) 相对误差 中误差有时不能完全表达精度的优劣,例如分别测量了长度为 100m 和 200m 的两段距离中误差皆为 $\pm 0.02\text{m}$,显然不能认为两段距离测量精度相同。为此引入了相对误差的概念。相对误差 K 是中误差 m 的绝对值与相应观测值 D 的比值,常用分子为 1 的分式表示:

$$K = \frac{|m|}{D} = \frac{1}{\frac{D}{|m|}} \quad (1-9)$$

上例中如果用相对精度来衡量,则容易发现第二段距离比第一段距离测量精度高。

相对精度不能用于角度测量,因为角度测量误差与角度大小无关。

(3) 极限误差 根据统计规律,大于 2 倍中误差的偶然误差出现的可能性约为 5%,大于 3 倍中误差的偶然误差出现的可能性约为 0.3%,所以一般取 2 倍中误差为允许误差,取 3 倍中误差为极限误差。

(4) 误差传播律 在实际工作中,有些值不是直接测量出来的,而是计算出来的。对于如下线性函数:

$$Z = k_1 x_1 \pm k_2 x_2 \pm \cdots \pm k_n x_n \quad (1-10)$$

式中 $k_1, k_2, \dots, k_n$ ——常数;

$x_1, x_2, \dots, x_n$ ——独立观测值, 其对应的中误差分别为 $m_{x1}, m_{x2}, \dots, m_{xn}$ 。

函数 Z 的中误差为

$$m_Z = \pm \sqrt{k_1^2 m_{x1}^2 + k_2^2 m_{x2}^2 + \dots + k_n^2 m_{xn}^2} \tag{1-11}$$

由式(1-6) 知算术平均值的中误差为

$$m_l = \pm \sqrt{\frac{1}{n^2} m_1^2 + \frac{1}{n^2} m_2^2 + \dots + \frac{1}{n^2} m_n^2} = \pm \sqrt{\frac{m^2}{n}} = \pm \sqrt{\frac{[\nu\nu]}{n(n-1)}} \tag{1-12}$$

如果是非线性函数, 应先线性化, 再按式(1-11) 计算中误差。

例如: 某段距离共丈量 10 次, 其值见表 1-1。计算算术平均值、观测值中误差、算术平均值中误差、相对误差。

表 1-1 距离丈量误差计算

序号	观测值/m	改正数/mm	ν	计 算
1	69.323	+1	1	算术平均值: $l = \frac{l_1 + l_2 + \dots + l_{10}}{10} = 69.324\text{m}$ 观测值中误差: $m = \pm \sqrt{\frac{[\nu\nu]}{n-1}} = \pm 3.1\text{mm}$ 算术平均值中误差: $m_l = \pm \frac{m}{\sqrt{n}} = \pm 1.0\text{mm}$ 相对误差: $K = \frac{1}{\frac{D}{m_l}} = \frac{1}{69324}$
2	69.326	-2	4	
3	69.324	0	0	
4	69.323	+1	1	
5	69.325	-1	1	
6	69.317	+7	49	
7	69.328	-4	16	
8	69.322	+2	4	
9	69.325	-1	1	
10	69.327	-3	9	
Σ	693.24	$[\nu] = 0$	86	

1.3.5 测量工作的程序和原则

测量工作可大致分为内业和外业两部分。外业主要是室外进行的测量工作, 如坐标测量、高程测量、测图、放线等, 内业主要指室内进行的数据处理和绘图工作。

测量工作程序一般可分为获得项目或任务, 收集并熟悉相关的资料, 完成技术设计或编制测量方案, 控制测量, 测图、放线或变形观测等, 技术总结, 提交成果和数据资料等。

测量工作的原则之一是“由整体到局部”、“先控制后碎部”。测量工作原则之二是“前一步工作未做检核, 不进行下一步工作”, 保证工作步步有检核。

小结: 本单元主要介绍建筑工程测量的任务、点位的坐标表示和测量误差的基本知识。

思考与练习

建筑
工程
测量

- 1. 简述建筑工程测量的任务。
- 2. 画图解释高程和高差。
- 3. 写出自己关心的城市所采用的坐标系有哪些特点。
- 4. 画图建立校园的独立坐标系。