

工作的开始系列

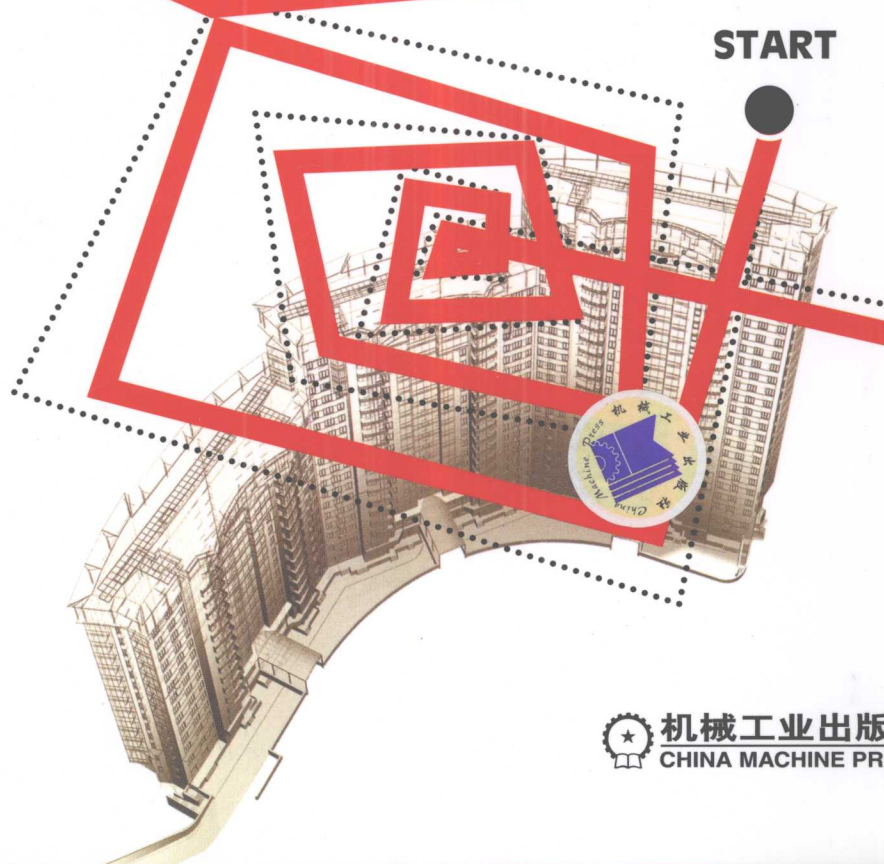


工作的开始

——土木工程测量

周新力 刘焕波 编著

START



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

工作的开始系列

工作的开始——土木工程测量

周新力 刘焕波 编著



机械工业出版社

本书是“工作的开始系列”之一。全书共分10章,就测量人员必须掌握的“实践技能”进行了深入浅出的阐述,回答了测量工作的核心问题,即“测量什么?用什么进行测量?如何测量?为什么要进行测量?什么地方需要测量?”,其中,第4~7章为现代三大测量系统的测量原理及其在控制测量、地形测量、施工放样等工作中的测量方法的全面阐述,第9、10章为测量技术在房屋工程和线路工程中的应用。全书图文并茂,文字简练。

本书可供在生产实践第一线的土木工程技术人员尤其是刚毕业后走上测量工作岗位的大中专学生使用。

图书在版编目(CIP)数据

工作的开始:土木工程测量/周新力等编著. —北京:机械工业出版社,2009.5
ISBN 978-7-111-26830-7

I. 工… II. 周… III. 土木工程-工程测量 IV. TU198

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第055826号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)
责任编辑:薛俊高 版式设计:霍永明 责任校对:魏俊云
封面设计:马精明 责任印制:乔宇
北京京丰印刷厂印刷
2009年6月第1版·第1次印刷
184mm×240mm·15.25印张·332千字
标准书号:ISBN 978-7-111-26830-7
定价:34.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
销售服务热线电话:(010) 68326294
购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643
编辑热线电话:(010) 88379776
封面无防伪标均为盗版

前 言

测量工作始终是把实践技能放在第一位的,而这个“实践技能”的内涵不仅仅指掌握几台测量仪器的使用和操作就可以了,更重要的是指能怎样对不同地区、不同地形采取最佳或最合理的测量工作方法才能在测量时不跑费点、不走冤枉路、不浪费时间,在满足测量精度的前提下提高测量效率。不仅如此,近几年来,随着电子水准仪、全站仪、GPS 全球定位系统等现代测绘技术的发展和普及,以及建筑业由传统的承发包经营方式向国际上“交钥匙”经营方式的逐渐转变,加之各地区高层建筑和高速公路的兴建,对测量员的“实践技能”的要求则有了更新的标准。因此,鉴于以上情况,本书的编写则主要以“作为一个合格的测量员,其首先必须要搞清楚测量上的 5 个问题”为原则进行的,即:

1. 测量什么 (What)? 其涉及的问题就是测量的对象是什么。而测量的对象就是地面点的三维坐标,那么,弄清楚测量的坐标系和参照系是如何建立的问题显然是至关重要的。

2. 用什么进行测量 (Which)? 其涉及的问题是如何使用测量的仪器、设备和工具。这里除了要了解普通测量设备(如微倾式水准仪、普通光学经纬仪等)的测量原理与工作方法,尤其要弄清楚现代电子测量设备(如全站仪)和当代先进的测量系统(如 GPS)等的测量原理和工作方法。

3. 怎样测量 (How)? 其涉及的问题主要是测量的基本工作路线和工作方法。这里主要是要弄清楚三大测量系统即现代电子测量设备(如全站仪)、GPS 全球定位系统、RS 遥感系统等在控制测量、地形图测绘和施工放样中具体的工作路线和工作方法。

4. 为什么要进行测量平差 (Why)? 其涉及的问题主要是指测量的误差和精度的评定。具体掌握测量误差产生的原因、误差的类型、误差大小的评定和处理误差的主要方法等。

5. 在什么地方需要测量 (Where)? 其涉及的问题实质上是指测量技术的应用问题。其中最具有代表性的两类工程的应用即房屋工程测量和线路工程测量,必须重点掌握。

在本书即将出版之际,首先要感谢机械工业出版社建筑分社薛俊高先生的信任和支持,使我有机会编写此书。其次,也要感谢邵阳学院科技处的领导和同志,以及我的同事王泽楠同志在本书编写过程中所给予的鼓励和帮助。最后,本书的编写参照了很多专家和同行所编写的有关测量方面的教材和参考书(其详细的要目列于本书后的参考文献中),其中还包括参考并引用了一些如武汉大学的张祖勋和李德仁等专家的 PPT 教材中的一些图片,在此,向他们表示由衷的敬意和歉意。

当然,由于本人的精力、能力和水平有限,难免有不足之处,敬请广大读者、专家和同行批评和赐教。

编 者

目 录

前言

第1章 绪论..... 1

- 1.1 测量的坐标系概述..... 1
- 1.2 测量的主要技术设备概述..... 2
- 1.3 测量的主要误差概述..... 4
- 1.4 测量的基本工作程序概述..... 5
- 1.5 工程测量的主要工作内容简介..... 8

第2章 测量的参照系和坐标系..... 10

- 2.1 地面点的高程系统..... 10
- 2.2 地面点的空间坐标系..... 12
- 2.3 地面点的平面坐标系..... 16
- 2.4 地面上直线的坐标方位..... 20

第3章 测量的基本图样..... 24

- 3.1 地形图的识读与应用..... 24
- 3.2 地籍图的识读与应用..... 38
- 3.3 建筑图的识读与应用..... 45

第4章 电子水准仪设备..... 53

- 4.1 电子水准仪的基本结构..... 53
- 4.2 电子水准仪的测量原理与方法..... 55
- 4.3 电子水准仪产生的基础..... 57
- 4.4 电子水准仪的基本操作过程..... 61
- 4.5 电子水准仪的检验和校正..... 64
- 4.6 电子水准仪进行高程控制测量的方法..... 67
- 4.7 电子水准仪进行高程测设的方法..... 71
- 4.8 电子水准仪测量误差的主要来源与处理..... 72

第5章 电子全站仪设备..... 77

- 5.1 电子全站仪的基本结构..... 77
- 5.2 电子全站仪测量的原理与方法..... 79

- 5.3 电子全站仪产生的基础..... 82

- 5.4 电子全站仪的发展过程..... 88

- 5.5 电子全站仪的基本操作过程..... 89

- 5.6 电子全站仪的检验与校正..... 92

- 5.7 全站仪进行平面控制测量的方法..... 94

- 5.8 全站仪进行地形测图的方法..... 100

- 5.9 全站仪进行坐标放样的方法..... 108

- 5.10 全站仪测量的误差与处理..... 109

第6章 GPS全球定位系统..... 114

- 6.1 GPS系统的基本组成..... 114

- 6.2 GPS系统的测量原理与方法..... 117

- 6.3 GPS系统产生的基础..... 122

- 6.4 GPS系统的发展历程..... 125

- 6.5 GPS进行控制测量的方法..... 126

- 6.6 GPS (RTK) 技术在碎部测量中的应用..... 132

- 6.7 GPS测量误差的主要来源和处理..... 133

第7章 RS遥感系统..... 137

- 7.1 RS遥感系统的组成..... 137

- 7.2 遥感的基本原理与方法..... 140

- 7.3 遥感系统产生的基础..... 144

- 7.4 遥感摄影的发展历程..... 146

- 7.5 遥感技术在测图中的应用..... 150

- 7.6 航空摄影的投影误差与纠正..... 156

第8章 测量的误差与精度..... 158

- 8.1 测量误差产生的原因..... 158

- 8.2 测量误差的基本特点..... 160

- 8.3 测量误差的衡量与评定..... 163

- 8.4 测量误差处理的主要措施..... 168

- 8.5 测量观测值的最或然值计算..... 173

8.6 测量数据的处理规则	176	第10章 线路工程测量	202
第9章 房屋工程测量	178	10.1 线路中线测量	202
9.1 建筑基线和建筑方格网的布设	178	10.2 线路纵横断面测量	211
9.2 建筑物场地的平整测量	182	10.3 道路施工测量	216
9.3 建筑物的定位测量	184	10.4 管道施工测量	219
9.4 民用建筑物施工测量	187	10.5 隧道施工测量	222
9.5 工业厂房施工测量	191	参考文献	230
9.6 建筑物的变形观测与竣工测量	196		

第1章 绪 论

1.1 测量的坐标系统概述

测量的目的就是确定地面上（包括空中、地下和海底）点的位置和位移状况，而空间里任何一个点的位置和运动轨迹都离不开一个参照基准，因此，在测量前需要首先建立一个特定的坐标系统。为了准确描述目标点在地球上的位置，测量上通常采用固联在地球上、并随同地球自转的地球坐标系。

目前，世界上采用的地球坐标系一般有两种类型，如图 1-1 所示。

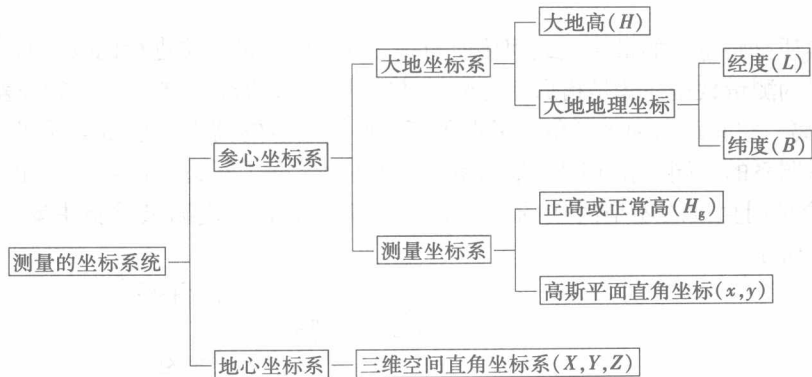


图 1-1 地球坐标系类型一览图

1. 由原点、参考面和基准方向所定义的坐标系

该坐标系一般以参考椭球体为中心，所以也称参心坐标系，其表现的形式主要是以大地坐标系或测量坐标系来表示的，即由点到基准面的垂直距离和点在基准面上的投影坐标所表示的坐标系，如我国的西安大地坐标和 BJ-54 北京平面坐标就属于这种坐标系。

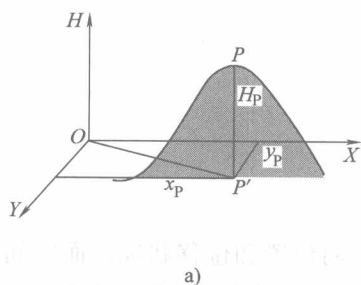
(1) 测量坐标系 由正高或正常高 (H_g) 和高斯平面直角坐标 (x, y) 所表示的坐标系，如图 1-2a 所示。

(2) 大地坐标系 由大地高 (H) 和地理坐标 (经度 L 、纬度 B) 所表示的坐标系，如图 1-2b 所示。

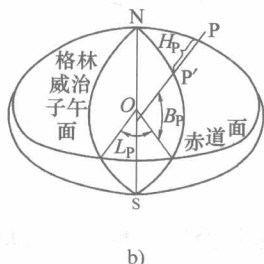
2. 用原点和三个坐标轴方向所定义的坐标系

该坐标系的坐标原点主要是地球的质心，所以也称地心坐标系，其表现的形式主要是以

空间三维直角坐标系来表示的 (图 1-3), 即由 X 、 Y 、 Z 三个互相垂直的坐标轴所表示的坐标系。



a)



b)

图 1-2 参心坐标系示意图

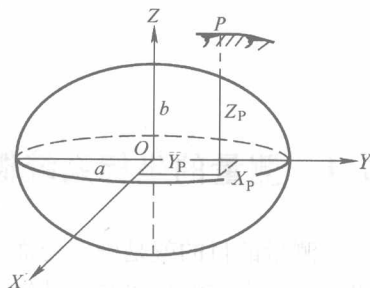


图 1-3 地心坐标系示意图

1.2 测量的主要技术设备概述

测量的实质是将待测的量直接或间接地与一个同类的计量单位进行比较。通常, 可以通过观测直接获得的测量数据往往是指那些与测量基准的起算数据无关的元素, 如高差 (即垂直距离)、水平距离、空间距离和水平角、竖直角等, 而地面点的高程、平面坐标和三维坐标等数据元素由于参照系的不同, 在不同的坐标系中有不同的数值, 因此, 需要通过计算才能得到。

目前无论是用直接的还是间接的观测方式, 最基本的现代测量设备主要可分为三大系统, 如图 1-4 所示。

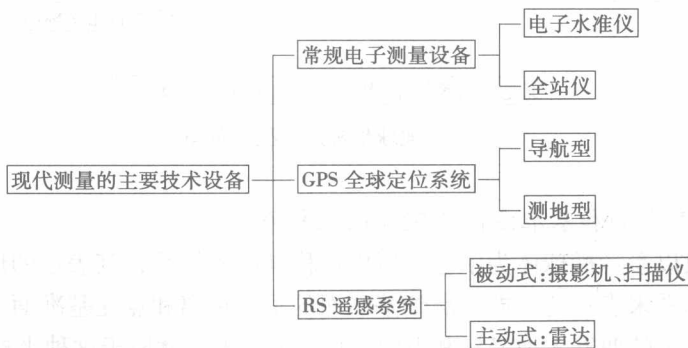


图 1-4 现代测量设备类型一览表

1. 现代电子测量设备

现代电子测量设备包括电子水准仪和电子全站仪。

(1) 电子水准仪 也称数字水准仪, 是在普通水准仪的基础上随着电子技术的发展而产生的, 集电子光学、图像处理、计算机技术于一体的当代最先进的、精度最高的高程测量设备 (图 1-5), 代表了当代水准仪的发展方向, 主要用于高等级的水准测量。

(2) 电子全站仪 也称电子速测仪,是在普通经纬仪的基础上随着电子技术的发展和光电测距仪的产生而问世的,集电子测角、光电测距、三角高程测量和微处理器及其软件等技术于一体的智能型光电测量设备(图 1-6),因其一次安置仪器就可以完成该测站上的全部测量工作,所以称之为全站仪。它主要用于平面控制测量和三维地形测图。

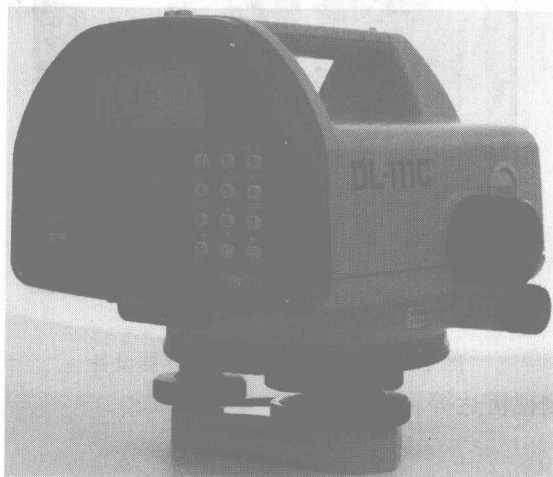


图 1-5 拓普康 DL111 型电子水准仪

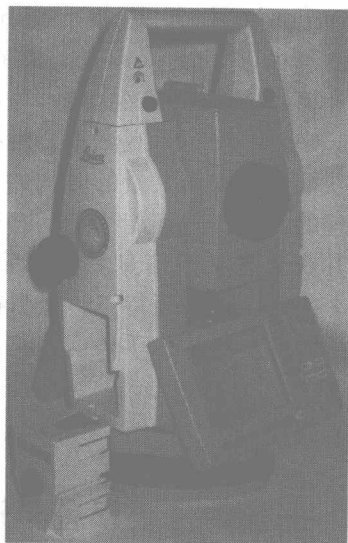


图 1-6 徕卡 TPS1200 型电子全站仪

2. GPS 全球定位系统

GPS 卫星导航定位系统即“授时与测距导航系统/全球定位系统”,英文全名为“Navigation System Timing and Raging/Global positioning System”。它是以无线电导航系统为基础,经由多普勒子午卫星导航定位系统的发展演变而来的。其测量不要求两测站点之间互相通视,也不受时间、地点、气候等条件的限制,可以进行全方位、全天候、全天时的测量,并能提供连续、实时、高精度的三维坐标信息,是目前控制测量中自动化程度最高的设备。它主要用于三维控制测量。其接收机设备主要有导航型和测地型两种,如图 1-7 所示。

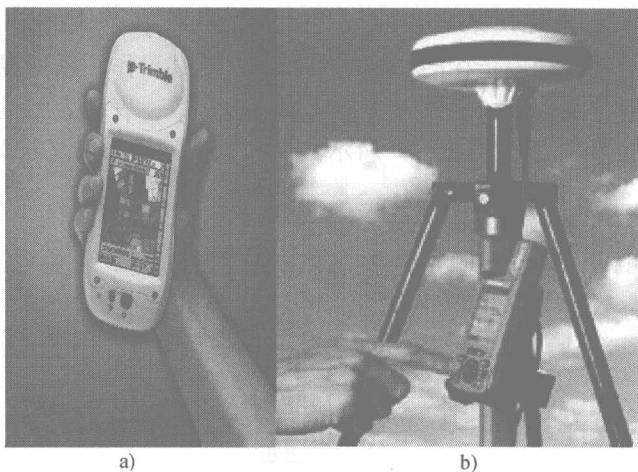


图 1-7 导航型和测地型 GPS 接收机

3. RS 遥感系统

RS 遥感系统是英文“Remote Sensing”的缩写，意思是“遥远的感知”，是指利用地面、空中或空间等平台上的传感器来对地表面上一切静止的或动态的物体进行无接触的远距离探测。它是 20 世纪 60 年代在摄影测量的基础上兴起的，并在航天技术、计算机技术和传感器技术等推动下发展起来的一种对地观测综合性技术。它可以获取目标物的大量的时间的、几何的和物理的信息，并且能测绘动态变化的目标，其获取的影像信息具有丰富、客观、形象、生动、逼真等特点，是目前数字化地形测图的主要技术手段。其传感器设备主要有被动式和主动式两类，前者包括摄影机和扫描仪等，如图 1-8 所示。后者包括侧视雷达等。

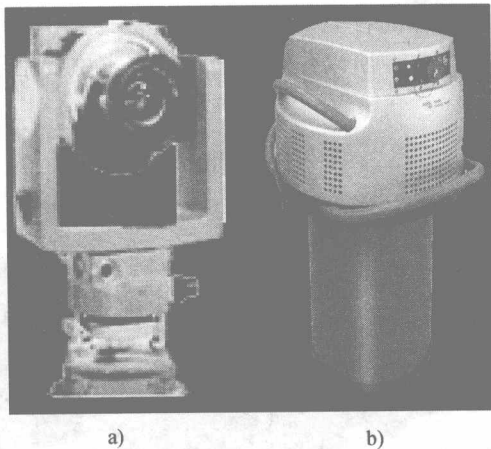


图 1-8 摄影机和扫描仪传感器设备

1.3 测量的主要误差概述

在测量过程中，由于受测量者、仪器和自然等条件的影响，在同一个量的各次观测值之间或各观测值与其理论值之间不可避免地存在着必然或偶然的差异，这些差异称为测量误差。

根据测量误差对观测结果的影响性质，一般可将其分为两种（图 1-9）。

1. 系统误差

系统误差指在同一观测条件下，对某量作一系列观测，其误差的大小和符号无论在个体或群体上都按一定规律变化或为某一常数，表现为测量所获得的一系列实测值始终偏离在真值的某一侧，如图 1-10 所示。例如，某钢尺的名义长为 30m，实际长为 29.99m，用该尺去

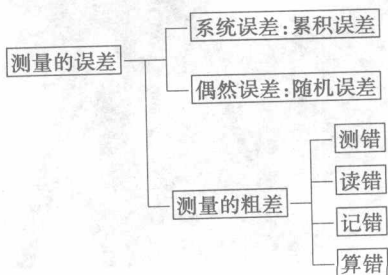


图 1-9 测量误差类型一览表

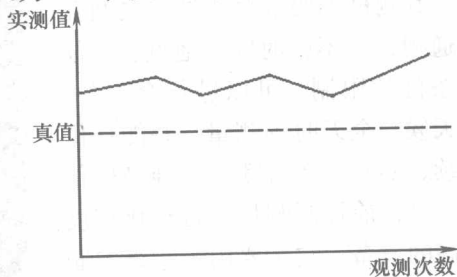


图 1-10 含有系统误差的实测值曲线图

丈量某一段路线的长度,所测得的距离与实际距离的差异即为系统误差;同时,由于该误差与所测距离的长度成正比地增加,测量的距离越长,所积累的误差也越大。因此,也把系统误差称为累积误差。

2. 偶然误差

偶然误差指在相同观测条件下,对某量作一系列观测,其误差出现的大小和符号在个体上没有任何的规律性,仅从总体上看,表现出一定的统计性正态分布规律,即表现为测量所获得的实测值始终在真值的左右两侧振荡,如图 1-11 所示。如用刻至 1mm 的钢尺丈量时,操作员在对 1mm 以下进行估读时,每一次的读数数值都有所不同;并且误差的影响忽大忽小,表现出一定的随机性。因此,偶然误差也称随机误差。

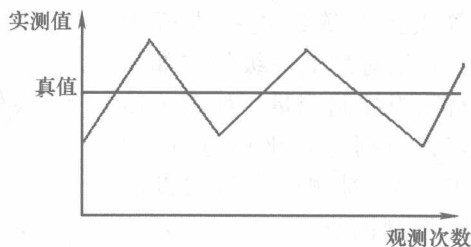


图 1-11 含有偶然误差的实测值曲线图

另外,测量过程中有时很可能发生错误,如读错、记错、算错和测错等,在测量上统称为粗差,它是由于观测者在工作中粗心大意所造成的。因此,它在观测值的成果中是不允许存在的。

1.4 测量的基本工作程序概述

通常,测量的过程是由一个已知点坐标向一个待测点进行传递的过程,在这个过程中所产生的误差具有一定的累积性。为了确保测量精度和提高工作效率,要求在整个测量过程中必须遵循“从整体到局部,先控制后碎部,精度由高到低”的工作原则。具体的工作程序分为两步,如图 1-12 所示。

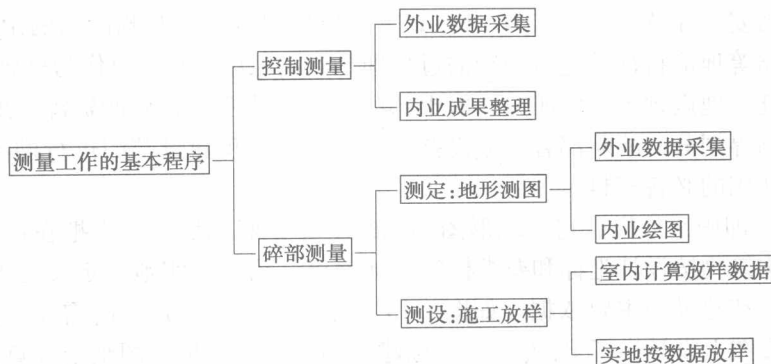


图 1-12 测量工作程序一览图

1. 控制测量

即在整个测区内按一定密度选择若干个具有控制意义的、能起骨干作用的点,作为局部测量用的控制点(或称参考点),并使这些点之间相互连接构成一定的控制网图形,然后以较高的精度对这些点进行测量。其控制点的布设一般按由高等级到低等级逐级进行加密,直至对最低等级的碎部点进行图根控制测量。如图 1-13 所示,根据已知坐标点 A、B 和 F、H,对测区内所布设的导线控制网点 1、2、3、4、5 等,以及三角控制网点 C、D、E、G 等进行高精度路线测量就是控制测量。其工作步骤一般分为三步,即外业布设路线、外业数据采集和内业成果

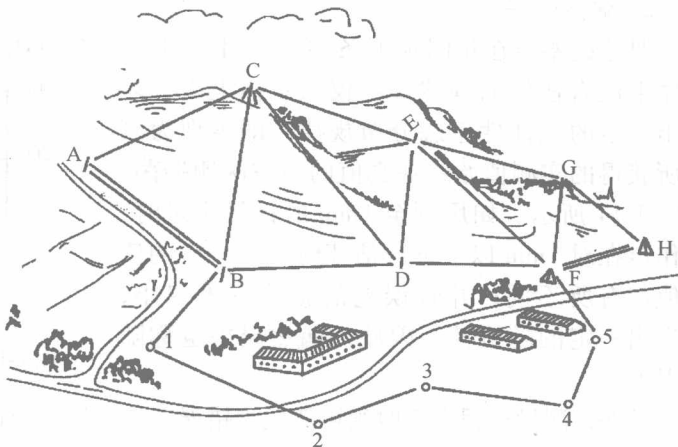


图 1-13 控制测量示意图

整理。为了有效地减小误差,要求控制测量:“测算工作步步有校核,前一步工作未作校核不能进行下一步工作”。例如,在测量过程中每一站要对观测的数据进行测试站检核,每一天要对观测的记录进行计算检核,每一条测量路线要对全程进行成果检核。

2. 碎部测量

即在测区内以控制点为已知点,用比控制测量要低的精度对地面上一些具有一定轮廓的、有特征意义的碎部点进行测量,其测量的内容分为两类:

(1) 测定 即地形图测绘,指对地面上的自然地貌和人工建筑物进行实地测量,并按一定比例尺和规定的符号缩绘在图纸上,形成地形图。如图 1-14 所示,图根控制测量完毕后,分别将仪器安置在 A、B、C、D、E、F 等图根控制点上,对测区内的山丘、房屋、河流、小桥、公路等地形特征点进行测绘的过程即是测定工作。它主要作为科研部门进行地壳升降、海岸变迁、地震预报等的研究,国土部门进行土地资源、矿产资源、地籍等的调查,国防部门进行国界划分、战略部署、战役指挥等,以及工程建设部门进行勘测、规划设计、变形监测等所使用的必备资料。

(2) 测设 即施工放样,它与地形图的测绘工作正好相反,是指把在地形图纸上设计好的建筑物或构筑物按设计坐标和要求标定到地面上,从而在实地确定其三维立体的位置,以作为施工生产和建设的主要依据。如图 1-15 所示,根据工程建设的需要,设计人员在已经测绘好的地形图上设计出了 P、Q、R 三栋建筑物,施工人员在图纸上计算出所需要的放样数据后,采用一定的放样方法,将这三栋建筑物的位置测设到地面上,这个过程就是测设工作。

1.5 工程测量的主要工作内容简介

在工程建设的勘测、设计、施工、竣工验收和使用等各个阶段所进行的一系列测量工作称为工程测量，通常按地物的类别可划分为三类性质的测量工作（图 1-16）。

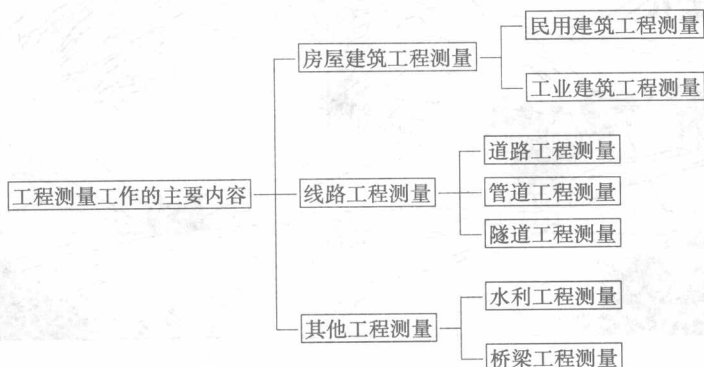


图 1-16 工程测量的基本内容一览图

1. 房屋建筑物工程测量

房屋建筑物主要包括民用建筑和工业建筑，具体内容有以下几个方面：

(1) 建筑场地的控制测量 包括在建筑场地布设建筑基线或建筑方格网和引测施工用的水准点。前者作为施工测量的平面控制，后者作为施工测量的标高控制。

(2) 建筑场地的平整测量 即对施工场地进行地面水准测量，根据所测量的施工场地各网点的地面高程绘制地形等高线图，以此作为设计依据将施工场地平整为水平面或倾斜面，并计算填、挖土石方量。

(3) 房屋的定位测量 即根据建筑方格网或已建建筑物，把房屋的角点测设在地面上（图 1-17）。

(4) 房屋基础施工测量 一般将房屋基础分为墙基础和柱基础。其测量的内容主要包括设置房屋轴线控制桩、放样基槽开挖边线、控制基础的开挖深度、测设垫层的施工标高和放样基础的模板位置。

(5) 房屋墙体施工测量 包括墙体轴线的定位、标高的控制和轴线投测等内容。

(6) 建筑物的变形观测 建筑变形包括沉降和位移，其中沉降观测在高程控制网的基

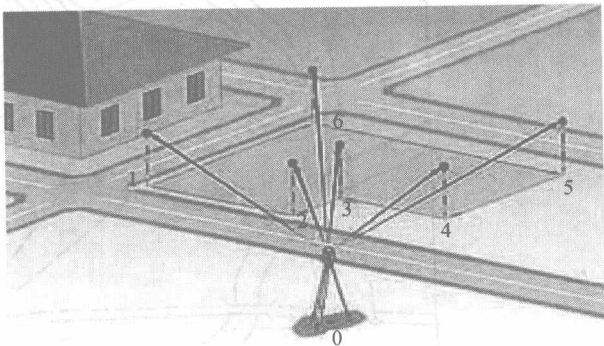


图 1-17 房屋建筑物的定位示意图

础上进行,位移观测在平面控制网的基础上进行。建筑变形测量是每隔一定时期根据控制点对观测点进行重复测量,通过计算相邻两次变形量及累积变形量来确定建筑物的变形值和分析变形规律。

2. 线路工程测量

线性建筑物中具有代表性的如道路工程、管道工程和隧道工程等,以道路工程为例,其测量工作的内容主要包括四个方面:

- (1) 道路控制测量 包括平面导线测量和水准路线测量。
- (2) 道路中线测量 即将道路的中心线标定到地面上(图 1-18),包括直线和曲线的放样。
- (3) 道路纵横断面测量 包括纵横断面水准测量、纵横断面图的绘制和计算填挖土石方量。
- (4) 道路施工测量 包括恢复中线测量、施工控制桩的测设、边桩的测设和道路坡度的测设等。

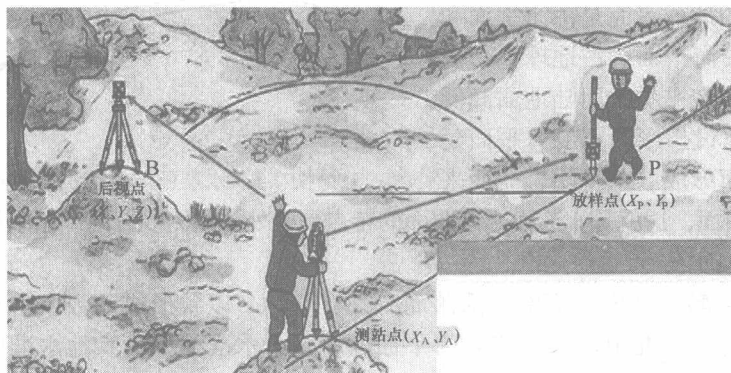


图 1-18 道路中线测量的示意图

第2章 测量的参照系和坐标系

2.1 地面点的高程系统

2.1.1 基准面的确定

为了准确地描述地球表面上任意一点的高低位置,需要在地球表面确定一个基准面,测量上称之为水准面,如图 2-1 所示。

1. 水准面

我们所看到的地球表面是由海平面和陆地地面组成,其中海平面约占地球整个表面积的 71%,且比较平缓,而陆地地面高低不平。因此,可以设想用静止的海平面延伸并穿过陆地地面而形成的一个闭合曲面来

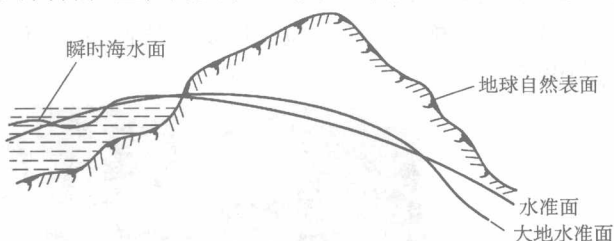


图 2-1 水准面与大地水准面示意图

代替地球的自然表面,这就是水准面,该曲面的特点是处处与重力线方向即铅垂线方向垂直。

2. 大地水准面

由于地球的自转,使海平面潮汐涨落而时刻在变化,以致形成无数个水准面。为了准确地描述地球形体,人们把其中通过平均海平面的那一个水准面称为大地水准面。由这个曲面所包围的地球形体,称为大地体。

2.1.2 地面点高低位置的表示

地面点的高低位置就是指该点距离所确定的这个基准面的高度,通常用绝对高程或相对高程来描述,如图 2-2 所示。

1. 绝对高程

地面点的绝对高程即指该点到大地水准面的铅垂距离,俗称“海拔”,用 H 表示,如图 2-2 中的 H_A 、 H_B 等,它以大地水准面作为高程起算的基准面。

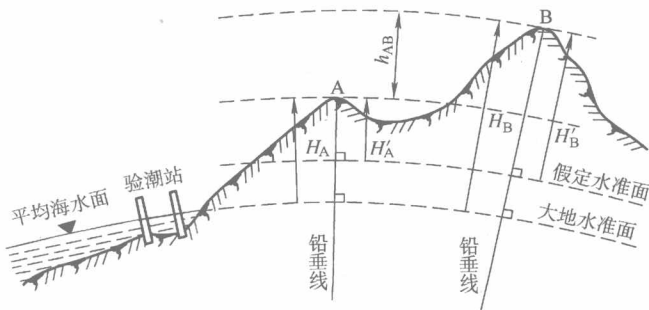


图 2-2 相对高程和绝对高程示意图

2. 相对高程

当个别地区在引用绝对高程有

困难时,一般采用假定高程系统。即以到任意水准面的铅垂距离为该点的假定标高,用 H' 表示,如图2-2中的 H'_A 、 H'_B 等。建筑上常把建筑物室内地坪的高程定为零,记作 ± 0.00 标高。其余部位的高程均从 ± 0.00 起算,高出 $\pm 0.000\text{m}$ 为正,低于 $\pm 0.000\text{m}$ 为负。

2.1.3 地面两点之间的高低位置关系

通过地面上任意两点的水准面之间的垂直距离就是这两点的高程之差,简称高差,用 h 表示。它是用于描述地面上两点的高低位置关系的量,如图2-3所示,设地面两点A、B的高程分别为 H_A 、 H_B ,则这两点间的高差 h_{AB} 为

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

若假设A点为高程零点, B点的相对高程(相对于A点)为 H'_B ,则

$$h_{AB} = H'_B - 0 = H'_B \quad (2-2)$$

式(2-2)表明两点的高差实质上就是一点对另一点的相对高程,它与高程的起算面无关。

2.1.4 我国高程系统的建立

由于各地区海洋水面的高度存在着差异,平均海平面的高度也随地点的不同而不同。在我国,解放前就有吴松口系统、珠江口系统、黄河口系统等。解放后,我国采用统一的高程系统,即在青岛设立一个验潮站,长期观测和记录黄海海平面的高低变化,并取其平均值作为大地水准面的位置,即高程起算面或高程基准。

1. 1956年黄海高程系

我国于1955年在青岛市观象山上建立了一个与青岛验潮站相联系的水准原点,用精密测量方法测定了它们之间的高差,根据1956年推算的结果,水准原点高出黄海平均海平面的数值是72.283m,通常称其为“1956年黄海高程系”,如图2-4所示。

2. 1985年国家高程基准

由于验潮资料不足等原因,我国自1987年启用“1985年国家高程基准”,它是采用青岛验潮站1953~1979年的潮汐资料计算确定的,依此推算的青岛国家水准原点高程为72.260m。

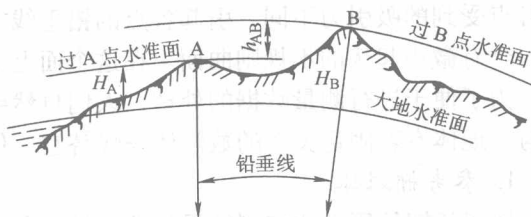


图2-3 地面两点的高差示意图

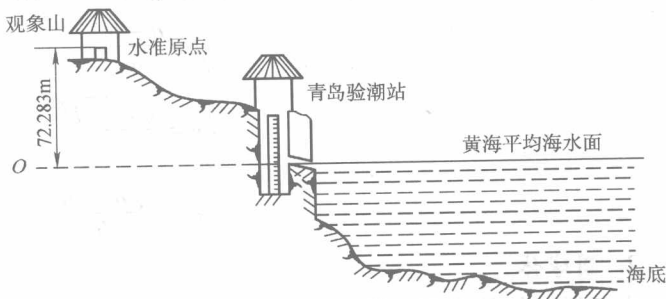


图2-4 我国的高程系统示意图