

土木工程测量

主 编 林龙镔 张荣洁

参 编 沈耀辉 吴毅峰

本书根据高等院校土木建筑类各专业测量学教学大纲及国家最新测量规范编写,在完整性和系统性的基础上,力求与工程实践更好地结合,满足土木工程等专业应用型人才培养的需要。本书内容经过多次推敲、论证,不仅做到了内容系统完整,而且充分反映了工程最新发展。全书共14章,可分为4个部分:第一部分(1~5章)系统介绍工程测量的基本知识、基本理论及传统光学测量仪器的构造和使用方法;第二部分(6~9章)介绍基础运用,包括直线定向、小区域控制测量及大比例尺地形图测绘、地形图的识读与应用;第三部分(10~13章)详细介绍了测设的基本工作、建筑工程和道路与桥梁工程施工测量的内容,以及工程测量中应用的较新的仪器和技术,如电子数字水准仪、全站仪、激光垂准仪、全球定位系统(GPS)等;第四部分(14章)详细介绍该课程在实践教学中所涉及的各项实验和测量实习等内容。本书由厦门大学嘉庚学院林龙镔、厦门大学嘉庚学院张荣洁任主编,编写分工如下:第1~6章、11章的11.1~11.2和11.5~11.7、13章、14章由厦门大学嘉庚学院林龙镔编写;第11章的11.3~11.4由招商局漳州开发区有限公司吴毅峰编写;第7章、9章、10章、12章由张荣洁编写;第8章由厦门大学嘉庚学院沈耀辉编写。全书由林龙镔负责统稿,张荣洁全面修改。

本书的编写得到了福建省教育科学“十三五”规划2016年度重点立项课题“基于微课的翻转课堂实践研究——以‘工程测量’为例”(编号:FJKCGZ16-069)的资助,该课题的研究成果将作为本书的配套资源提供给教师用于课程的教学。

本书采用了校企合作的编写方式,内容取舍及组织不仅汲取了教师在测量教学方法、教学手段和教学内容等方面改革的成功经验,而且充分吸收了施工现场作业人员的工程经验。教材的编写得到了中建海峡建设发展有限公司林睿源、北京建谊投资发展(集团)有限公司彭占文、福建联谊建筑工程有限公司方建进等技术人员的支持,他们对施工测量章节部分内容的编写提出了许多宝贵意见。编者参与企业现场的测量作业,使得施工测量等章节的内容能够充分地结合工程的实践,更有利于对学生实践技能的培养。

本书在编写过程中引用了若干公开发表的论文资料、相关教材及著作,并参考了仪器设备

的使用说明书及厂家提供的相关资料。在此，对以上给予本书编写工作提供支持和帮助企业及人员一并表示衷心的感谢！

由于时间仓促和编者的水平有限，书中难免存在疏漏之处，恳请读者批评指正。

编 者

第 1 章 绪论	(1)
1.1 测量学概述	(1)
1.1.1 测量学分类	(1)
1.1.2 基本概念	(2)
1.1.3 发展历史	(2)
1.1.4 应用范围及学习要求	(3)
1.2 地球的形状和大小	(3)
1.3 地面点位的确定	(5)
1.3.1 地理坐标系	(5)
1.3.2 平面直角坐标系	(5)
1.3.3 高程系	(8)
1.3.4 常用坐标系	(9)
1.4 用水平面代替水准面的限度	(10)
1.4.1 对距离的影响	(10)
1.4.2 对高程的影响	(11)
1.4.3 对水平角的影响	(12)
1.5 测量的基本工作与基本原则	(12)
1.5.1 测量的基本工作	(12)
1.5.2 测量的基本原则	(13)
1.6 测量常用计量单位	(14)
1.6.1 常用计量单位	(14)
1.6.2 测量数据计算的凑整规则	(14)
第 2 章 水准测量	(16)
2.1 水准测量原理	(16)
2.2 水准测量的仪器与工具	(18)
2.2.1 DS3 型微倾式水准仪	(18)
2.2.2 水准尺和尺垫	(21)
2.2.3 DS3 微倾式水准仪的使用	(22)

2.3	水准测量的方法与成果处理	(23)
2.3.1	水准点	(23)
2.3.2	水准路线	(24)
2.3.3	普通水准测量的外业作业	(25)
2.3.4	水准测量的成果处理	(28)
2.4	水准仪的检验与校正	(31)
2.4.1	水准仪的轴线及其几何关系	(31)
2.4.2	水准仪的检验与校正	(31)
2.5	水准测量的误差来源	(34)
2.5.1	仪器误差	(34)
2.5.2	观测误差	(35)
2.5.3	外界环境的影响	(35)
2.5.4	水准测量的注意事项	(36)
2.6	自动安平水准仪简介	(37)
2.6.1	自动安平补偿器的工作原理	(37)
2.6.2	自动安平水准仪的使用步骤	(37)
2.7	精密水准仪简介	(38)
2.7.1	精密水准尺	(38)
2.7.2	读数原理	(38)
第3章	角度测量	(42)
3.1	角度测量原理	(42)
3.1.1	水平角测量原理	(42)
3.1.2	竖直角测量原理	(43)
3.2	DJ6 光学经纬仪的基本构造	(44)
3.2.1	照准部	(45)
3.2.2	水平度盘	(45)
3.2.3	基座	(46)
3.2.4	读数设备及方法	(46)
3.3	DJ6 光学经纬仪的基本操作	(48)
3.3.1	安置仪器	(48)
3.3.2	瞄准目标	(50)
3.3.3	读数	(50)
3.4	水平角观测	(50)
3.4.1	测回法	(50)
3.4.2	方向观测法	(52)
3.5	竖直角观测	(54)
3.5.1	竖直度盘的结构	(54)
3.5.2	竖直角的计算	(56)
3.5.3	竖直度盘指标差	(56)
3.5.4	竖直角的观测	(57)
3.6	DJ6 光学经纬仪的检验与校正	(58)
3.6.1	照准部管水准器的检验与校正	(58)
3.6.2	十字丝竖丝的检验与校正	(59)
3.6.3	视准轴的检验与校正	(60)

3.6.4	仪器横轴的检验与校正	(61)
3.6.5	竖直度盘指标差的检验与校正	(61)
3.6.6	光学对中器的检验与校正	(62)
3.7	角度测量的误差及注意事项	(63)
3.7.1	仪器误差	(63)
3.7.2	观测误差	(63)
3.7.3	外界条件的影响	(65)
3.7.4	角度观测中应注意的事项	(65)
第4章	距离测量	(67)
4.1	钢尺量距	(67)
4.1.1	测量工具	(67)
4.1.2	直线定线	(69)
4.1.3	钢尺量距的一般方法	(69)
4.1.3	钢尺量距的精密方法	(71)
4.1.4	钢尺量距的误差分析	(72)
4.1.5	钢尺维护	(73)
4.2	视距测量	(73)
4.2.1	视准轴水平时的视距计算	(73)
4.2.2	视准轴倾斜时的视距计算	(74)
4.2.3	视距测量的步骤	(75)
4.2.4	视距测量的误差分析及注意事项	(75)
4.3	电磁波测距仪简介	(76)
4.3.1	电磁波测距概述	(76)
4.3.2	电磁波测距的基本原理	(77)
4.4	三角高程测量	(80)
4.4.1	三角高程测量的原理	(80)
4.4.2	地球曲率和大气折光对高差的影响与改正	(81)
4.4.3	三角高程测量的观测与计算	(81)
第5章	测量误差的基本知识	(83)
5.1	测量误差概述	(83)
5.1.1	测量误差的概念	(83)
5.1.2	测量误差的来源	(84)
5.1.3	测量误差的分类	(84)
5.1.4	多余观测	(85)
5.1.5	偶然误差的特性	(85)
5.2	衡量精度的指标	(87)
5.2.1	中误差(标准差)	(87)
5.2.2	相对误差	(88)
5.2.3	容许误差(限差)	(89)
5.3	算术平均值及其精度评定	(89)
5.3.1	算术平均值	(89)
5.3.2	观测值的改正数	(90)
5.3.3	按观测值的改正数计算中误差	(91)

5.4	误差传播定律及其应用	(93)
5.4.1	线性函数的误差传播定律及其应用	(93)
5.4.2	非线性函数的误差传播定律及其应用	(95)
5.5	非等精度观测的最可靠值及其中误差	(96)
5.5.1	测量平差原理	(96)
5.5.2	权	(97)
5.5.3	非等精度观测的最可靠值	(98)
5.5.4	非等精度观测的最可靠值的精度评定	(98)
第6章	直线定向	(101)
6.1	直线定向概述	(101)
6.1.1	标准北方向	(101)
6.1.2	直线方向的表示方法	(102)
6.1.3	三种方位角之间的关系	(102)
6.1.4	用罗盘仪测定磁方位角	(103)
6.2	坐标方位角的计算	(104)
6.2.1	正、反坐标方位角	(104)
6.2.2	坐标方位角的推算	(105)
6.3	坐标正算与坐标反算	(106)
6.3.1	象限角的概念	(106)
6.3.2	坐标正算(极坐标化为直角坐标)	(107)
6.3.3	坐标反算(直角坐标化为极坐标)	(107)
第7章	小区域控制测量	(109)
7.1	控制测量概述	(109)
7.1.1	控制测量的意义及方法	(109)
7.1.2	控制网的分级	(110)
7.1.3	小区域控制测量	(113)
7.2	导线测量	(113)
7.2.1	导线布设形式	(114)
7.2.2	导线测量的外业工作	(114)
7.2.3	导线测量的内业计算	(116)
7.3	交会定点	(122)
7.3.1	交会方法	(122)
7.3.2	角度前方交会	(123)
7.3.3	测边交会	(124)
7.3.4	全站仪自由设站法	(126)
7.4	三、四等水准测量	(126)
7.4.1	三、四等水准测量的技术要求	(126)
7.4.2	三、四等水准测量的方法	(126)
7.4.3	三、四等水准测量的成果整理	(128)
第8章	大比例尺地形图测绘	(131)
8.1	地形图的基本知识	(131)
8.1.1	地形图比例尺	(131)

8.1.2	地形图分幅与编号	(132)
8.1.3	地形图的图框外注记	(135)
8.1.4	地物符号与地物注记	(137)
8.1.5	地貌符号	(140)
8.2	测图前的准备工作	(144)
8.2.1	图根控制测量	(144)
8.2.2	测图前的准备工作	(144)
8.2.3	碎部点的测定方法	(145)
8.3	测图方法简介	(147)
8.3.1	平板仪测图法	(147)
8.3.2	经纬仪测绘法	(149)
8.3.3	测站点的增设	(150)
8.4	地形图绘制	(151)
8.5	地形图的检查、拼接和整饰	(152)
8.6	数字化测图	(152)
8.6.1	数字化测图概述	(152)
8.6.2	草图法数字测图	(155)
8.6.3	等高线自动绘制	(157)
8.6.4	成图软件 CASS 概述	(157)
第 9 章	地形图的识读与应用	(161)
9.1	地形图的识读	(161)
9.1.1	图外注记识读	(162)
9.1.2	地物识读	(162)
9.1.3	地貌识读	(162)
9.2	地形图应用的基本内容	(162)
9.2.1	确定图上点的坐标	(162)
9.2.2	确定图上点的高程	(163)
9.2.3	确定两点的水平距离	(164)
9.2.4	确定两点的坐标方位角	(164)
9.2.5	确定两点间的坡度	(164)
9.3	地形图上面积的量算	(165)
9.3.1	图解法	(165)
9.3.2	解析法	(167)
9.3.3	求积仪法	(167)
9.4	地形图在工程中的应用	(168)
9.4.1	确定汇水面积	(168)
9.4.2	计算库容	(169)
9.4.3	确定坡脚线	(169)
9.4.4	选定匀坡路线(最短路线)	(169)
9.4.5	绘制纵断面图	(170)
9.4.6	场地平整及土方数量计算	(170)
9.5	数字化地形图的应用	(174)
第 10 章	测设的基本工作	(176)
10.1	已知水平距离、水平角和高程测设	(176)

10.1.1	测设已知水平距离	(176)
10.1.2	测设已知水平角	(177)
10.1.3	测设已知高程	(179)
10.2	坡度线测设	(181)
10.3	点平面位置测设	(182)
10.3.1	直角坐标法	(182)
10.3.2	极坐标法	(183)
10.3.3	角度交会法	(183)
10.3.4	距离交会法	(184)
10.3.5	全站仪平面坐标测设法	(185)
10.4	全站仪三维坐标测设	(185)
10.5	测绘技术发展的梳理与展望	(185)
第 11 章 建筑施工测量		(187)
11.1	建筑施工测量概述	(187)
11.1.1	施工测量的工作内容	(187)
11.1.2	施工测量的特点	(188)
11.1.3	施工测量的基本原则	(188)
11.1.4	测绘新技术在施工测量中的应用	(188)
11.1.5	施工坐标系与测图坐标系的坐标转换	(189)
11.2	施工控制测量	(189)
11.2.1	控制测量概述	(189)
11.2.2	控制网的基本形式	(190)
11.2.3	建筑方格网的测设	(191)
11.3	多层民用建筑施工测量	(193)
11.3.1	主轴线的测量	(193)
11.3.2	建筑物放线测量	(194)
11.3.3	基础施工测量	(195)
11.3.4	墙身皮数杆设置	(197)
11.3.5	主体施工测量	(197)
11.4	高层建筑施工测量	(199)
11.4.1	高层建筑施工测量的特点及精度要求	(199)
11.4.2	高层建筑物主要轴线的定位	(200)
11.4.3	高层建筑物轴线的竖向投测	(201)
11.4.4	高程传递	(203)
11.5	工业厂房施工测量	(204)
11.5.1	工业厂房矩形控制网建立	(204)
11.5.2	工业厂房柱列轴线测设	(205)
11.5.3	工业厂房柱基施工测量	(205)
11.5.4	工业厂房构件安装测量	(206)
11.6	建筑物的变形观测	(208)
11.6.1	沉降观测	(210)
11.6.2	倾斜观测	(213)
11.6.3	位移观测	(216)
11.6.4	裂缝观测	(218)

11.6.5	基坑支护工程监测	(219)
11.6.6	变形测量应急措施	(219)
11.7	竣工总平面图的编绘	(220)
11.7.1	竣工总平面图的编绘目的	(220)
11.7.2	竣工测量	(220)
11.7.3	竣工总平面图的编绘依据、方法与整饰	(220)
第 12 章	道桥施工测量	(223)
12.1	道路工程测量概述	(223)
12.2	路线平面组成及平面位置的标定	(224)
12.2.1	路线平面组成	(224)
12.2.2	中桩、里程及桩号	(225)
12.2.3	中桩的分类	(225)
12.2.4	断链	(226)
12.3	道路中线测量	(226)
12.3.1	交点与转点测设	(226)
12.3.2	路线转角测定	(229)
12.3.3	中桩测设	(230)
12.3.4	全站仪一次放样	(230)
12.3.5	GPS-RTK 测设	(230)
12.4	圆曲线的测设	(231)
12.4.1	圆曲线主点的测设	(231)
12.4.2	圆曲线的详细测设	(233)
12.5	带缓和曲线的平曲线测设	(236)
12.5.1	缓和曲线的数学表达式	(236)
12.5.2	带缓和曲线的平曲线主点测设	(237)
12.5.3	带缓和曲线的平曲线详细测设	(239)
12.6	道路纵、横断面测量	(240)
12.6.1	道路纵断面测量	(240)
12.6.2	道路横断面测量	(244)
12.7	道路施工测量	(248)
12.7.1	线路复测	(248)
12.7.2	施工控制桩测设	(248)
12.7.3	路基边桩测设	(248)
12.7.4	路基边坡测设	(250)
12.8	桥梁施工测量	(251)
12.8.1	桥梁控制测量	(251)
12.8.2	桥梁施工测量分类	(253)
12.8.3	桥梁变形观测	(256)
第 13 章	常用测绘仪器介绍	(258)
13.1	电子数字水准仪简介	(258)
13.1.1	电子数字水准仪的原理	(258)
13.1.2	条码水准尺	(259)
13.1.3	ZDL700 数字水准仪	(259)

13.2	电子经纬仪简介	(262)
13.2.1	电子经纬仪的特点	(262)
13.2.2	电子经纬仪的测角原理	(262)
13.2.3	电子激光经纬仪	(264)
13.2.4	DT-02 电子经纬仪	(264)
13.3	全站仪	(267)
13.3.1	全站仪概述	(267)
13.3.2	全站仪的特点	(268)
13.3.3	NTS—360 全站仪的基本操作	(269)
13.4	激光垂准仪	(274)
13.4.1	激光垂准仪的原理	(274)
13.4.2	激光垂准仪的应用	(274)
13.4.3	仪器简介	(274)
13.5	全球定位系统 GPS 简介	(276)
13.5.1	全球导航卫星系统概述	(276)
13.5.2	GPS 定位原理及定位种类	(277)
13.5.3	实时动态定位应用	(278)
第 14 章	测量实验与实习	(285)
14.1	测量实验的一般要求	(285)
14.1.1	实验目的	(285)
14.1.2	实验要求	(285)
14.1.3	测量仪器的借用规则	(285)
14.1.4	测量仪器、工具的正确使用和维护	(286)
14.1.5	测量记录与计算规则	(288)
14.2	测量实验实例	(289)
实验 1	水准仪的认识与使用	(289)
实验 2	普通水准测量	(291)
实验 3	DS3 微倾式水准仪的检验与校正	(293)
实验 4	DJ6 光学经纬仪的认识及使用	(295)
实验 5	测回法观测水平角	(297)
实验 6	竖直角测量	(299)
实验 7	经纬仪的检验与校正	(300)
实验 8	电子经纬仪的认识与使用	(302)
实验 9	钢尺量距与罗盘仪使用	(303)
实验 10	视距与三角高程测量	(304)
实验 11	全站仪的认识与使用	(305)
实验 12	极坐标法测设点位、高程	(307)
14.3	测量实习	(308)
14.3.1	手工测图	(308)
14.3.2	数字测图	(309)
14.3.3	施工放样	(310)
14.3.4	实习记录用表	(311)
参考文献	(316)

绪 论

★本章重点

土木工程测量应解决的问题，水准面、大地水准面、参考椭球面的概念，地面点位的确定方法，大地坐标、天文坐标、平面直角坐标、高程系统、地球曲率对测量工作的影响，测量的基本工作和基本原则，测量常用基本单位。

★本章难点

高斯平面直角坐标系的建立方法。

1.1 测量学概述

测量学，又称测绘学，是研究地球的形状与大小，确定地球表面（包括地下及地上空间）各种物体的形状、大小和空间位置的科学。其主要解决以下三个方面的问题：

- (1) 研究地球的形状和大小；
- (2) 收集和采集地球表面的形态及其他相关的信息并绘制成图；
- (3) 进行经济建设和国防建设所需要的测绘工作，满足各类工程项目设计、施工、管理的需要。

1.1.1 测量学分类

测量学根据研究的重点对象和应用范围的差异，分为以下几门主要的分支学科：

(1) 大地测量学：研究地球整体的形状、大小，进行地球重力场测定并按一定坐标系建立国家大地控制网，以满足测绘地形图、国防和工程建设需要的理论和方法的学科。该学科主要是以地球表面的一个广大区域甚至整个地球表面为研究对象的测绘科学。近年来，随着人造地球卫星的发射，大地测量学又分为常规地测量学和卫星地测量学。

(2) 普通测量学：研究地球表面局部区域的地物和地貌，并将其按一定比例尺测绘成大比例尺地形图的基本理论和方法的学科，属测量学的基础部分。由于测量范围较小，可以把所研究的地球球面当作平面看待而不用考虑地球曲率的影响。

(3) 摄影测量学：研究利用摄影或遥感技术获取被测物体（地物和地貌）的影像，并进行分析和处理，以确定被测物体的形状、大小和位置，判断其性质的一门学科。根据获得相片的方式和研究的目的不同，摄影测量学又分为航天摄影测量学、航空摄影测量学、地面摄影测量学和水下摄影测量学。

(4) 工程测量学：研究工程建设在设计、施工和管理各阶段中进行测量工作的理论、技术和方法的学科，又称为实用测量学或应用测量学。它是测绘学在国民经济和国防建设中的直接应用。

(5) 海洋测绘学：以海洋水体和海底为对象所进行的测量和海图编制工作，是海洋事业的一项基础性工作，其成果广泛应用于经济建设、国防建设和科学研究的各个领域。海洋测绘学的基本理论、技术方法和测量仪器设备等，同陆地测量相比，有其自身的特点，包括测量内容综合性强、测区条件复杂、大多为动态作业、精确测量难度大等。

(6) 地图制图学：研究各种地图的制作理论、原理、工艺技术和应用的学科。它研究用地图图形反映自然界和人类社会各种现象的空间分布、相互联系及其动态变化，具有区域性学科和技术性学科的两重性，也称地图学。

本书内容主要属于普通测量学的范畴，并包含工程测量学的基本内容。

1.1.2 基本概念

地球的自然表面很不规则，有各种不同地形，例如：高山、丘陵、平原、盆地、湖泊、河流和海洋等。人类为了生存和发展的需要，在地球表面上建设了各类建筑物和构筑物，如房屋、工业厂房、码头、公路、铁路、桥梁等。为了满足学习的需要，首先了解地物、地貌和地形的概念。

(1) 地物：地面上天然或人工形成的物体，包括湖泊、河流、海洋、房屋、道路、桥梁等。

(2) 地貌：地表高低起伏的形态，包括山地、丘陵和平原等。

(3) 地形：地物和地貌的总称。

1.1.3 发展历史

测绘学研究地球的形状与大小，而人类对地球形状的认识也处于不断的变化中。最初人们认为地球“天圆地方”，公元前6世纪毕达哥拉斯和公元前4世纪亚里士多德提出了“地圆说”。公元前3世纪，埃拉托斯特尼在亚历山大采用两地观测日影的方法，首次推算出地球子午圈的周长以及地球的半径，证实了“地圆说”理论，而该方法则是“弧度测量”的初始形式。724年，中国唐代的南宫说等人在张遂（一行）的指导下，首次在河南省境内实测一条300千米的子午弧，推算出纬度 1° 的子午弧长，也是世界上第一次弧度实测。1617年，荷兰的W. 斯涅尔首创三角测量法进行弧度测量，克服了在地球表面上直接测量弧长的困难。1687年，英国的牛顿发表万有引力定律之后，1690年，荷兰的惠更斯在其著作《论重力起因》中，根据地球表面的重力值从赤道向两极增加的规律，得出地球的外形为两极略扁的扁球体论断，从此结束了半个世纪的有关地球形状的争论。1743年，法国的A. C. 克莱罗发表《地球形状理论》，奠定了用物理方法研究地球形状的理论基础。1849年，英国的G. G. 斯托克斯提出斯托克斯定理，根据这一定理，可以利用地面重力测量结果研究大地水准面形状。1873年，德国的利斯廷提出大地水准面的概念，以一个假想的由地球自由静止的海水平面扩展延伸而形成的重力等位闭合曲面表示地

球的形状。1945年,苏联的米哈伊尔·谢尔盖耶维奇·莫洛坚斯基依据地球表面的测量数据创造了确定地球自然表面形状及其引力场的基本理论,提出了似大地水准面的概念。

测绘学是技术性学科,它所依仗的工具是测绘仪器,因此测绘学的发展离不开测绘工具的革新。17世纪以前,人们使用简单的工具,如绳尺、木杆尺等进行测量,以测量距离为主。17世纪初,人们发明了望远镜,测绘工具开始变革。1730年,英国的西森研制出第一台经纬仪,促进了三角测量的发展。地理大发现开始后,许多国家研究出了海上测定经纬度的仪器,以定位船只。1859年,法国的A.洛斯塔首创摄影测量法。20世纪以后,随着飞机的发明,出现了航空摄影测绘地图的方法,可以将航摄相片在立体测图仪上加工成地形图。1957年第一颗人造地球卫星发射成功后,利用人造卫星进行大地测量成为主要技术手段,卫星定位技术(GPS)和遥感技术(RS)得以广泛应用。随着电子计算机、微电子技术、激光技术、空间技术的发展与应用,以“3S技术”[GPS、RS与地理信息系统技术(GIS)]为代表的测绘科学与技术得到不断发展和完善。

1.1.4 应用范围及学习要求

在国民经济建设中,测绘技术有比较广泛的应用。城市规划、给水排水、燃气管道、工业厂房和民用建筑中的测量工作主要有:在设计阶段,测绘各种比例尺的地形图,供建、构筑物的平面及竖向设计使用;在施工阶段,将设计建、构筑物的平面位置和高程在实地标定出来,作为施工的依据;工程竣工后,测绘竣工图,供日后扩建、改建、维修和城市管理应用;对某些重要的建、构筑物,在建设中和建成以后还需进行变形观测,以保证建、构筑物的安全。在铁路、公路的建筑之前,为了确定一条最经济、最合理的路线,必须预先进行该地带的地形图测绘,在地形图上进行线路设计,然后将设计路线的位置标定在地面上,以便进行施工。当路线跨越河流时,应测绘河流两岸的地形图,测定河流的水位、流速、流量、河床地形图等以供桥梁设计、建设使用。当路线穿过山岭需要开挖隧道时,需要应用地形图确定隧道位置,根据测量数据计算隧道的长度和方向,隧道相向开挖,需要根据测量成果指示开挖方向,保证正确贯通。在房地产的开发、管理和经营中,测绘技术也起着重要的作用。

土木工程专业的学生通过本课程学习,应掌握下列基本能力:

- (1) 地形图测绘:运用各种测量仪器和工具,通过实地测量和计算,把小范围内地面上的地物、地貌按一定的比例尺测绘成图。
- (2) 地形图应用:在工程设计中,从地形图上获取设计所需要的资料,如点的坐标和高程、两点间的水平距离、地块的面积、土方量、地面坡度、地形的断面和进行地形分析等。
- (3) 施工放样:把图上设计好的建、构筑物标定在实地上,作为施工的依据。
- (4) 变形观测:监测建、构筑物的水平位移、垂直沉降、倾斜变形和裂缝扩展等,并采取措施,保证建、构筑物的使用安全。
- (5) 竣工测量:工程竣工后,测绘竣工图。

1.2 地球的形状和大小

测量工作是在地球表面上进行的,地球的形状和大小与测量工作和数据处理紧密相关。地球的自然表面有高山、丘陵、平原、盆地、湖泊、河流和海洋等高低起伏的形态,其中海洋面积约占71%,陆地面积约占29%。在地面进行测量工作应掌握重力、铅垂线、水准面、大地水准

面、参考椭球面和法线的概念及其相互关系。

如图 1-1 (a) 所示, 由于地球的自转, 其表面的质点 P 同时受到万有引力与离心力的影响, P 点所受的万有引力与离心力的合力称为重力, 重力的方向线称为铅垂线。

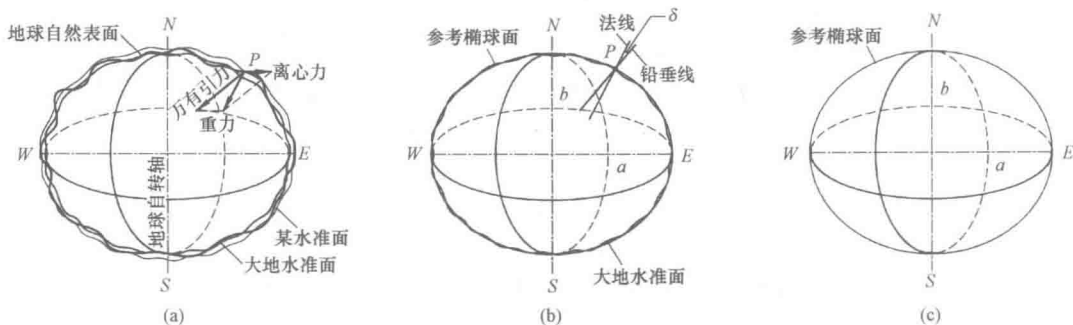


图 1-1 地球自然表面、水准面、大地水准面、参考椭球面、铅垂线、法线间的关系

假想静止不动的水面延伸穿过陆地, 包围整个地球, 形成一个闭合的曲面, 这个闭合曲面称为水准面。水准面是受地球重力影响形成的重力等位面, 其特点是面上任意一点的铅垂线都垂直于该点的曲面。由于水准面的高度可变, 因此符合这个特点的水准面有无数个, 其中与平均海水面相吻合的水准面称为大地水准面。大地水准面是唯一的。

由于地球内部的质量分布不均匀, 地球各处万有引力的大小不同, 致使重力方向发生变化, 所以大地水准面是一个有微小起伏、不规则的复杂曲面, 难以用数学方程表示。如果在这个曲面上直接进行测绘和数据处理, 将非常困难。为了解决这个问题, 通常选择一个与大地水准面非常接近的、能用数学方程表示的椭球面代表地球的几何形状, 椭球面是由长半轴为 a 、短半轴为 b 的椭圆 $NESW$ 绕其短轴 NS 旋转而成的参考椭球体, 参考椭球体又称地球椭球体, 其表面称为参考椭球面, 如图 1-1 (c) 所示。参考椭球面可以用数学公式表示为

$$\frac{X^2}{a^2} + \frac{Y^2}{a^2} + \frac{Z^2}{b^2} = 1 \quad (1-1)$$

由地表任意一点 P 向参考椭球面所做的垂线称为法线, P 点的铅垂线与法线一般不重合, 其夹角 δ 称为垂线偏差, 如图 1-1 (b) 所示。

地球椭球体的各项参数, 包括椭球体的长半轴 a 、短半轴 b 、扁率 α 等, 参数间的关系式为

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

我国在不同时期使用的地球椭球体参数如表 1-1 所示。

表 1-1 地球椭球体参数

椭球体名称	推求年代	长半轴 a	扁率 α	应用
海福特椭球体	1910 年	6 378 388 m	1:297.0	中华人民共和国成立前
克拉索夫斯基椭球体	1940 年	6 378 245 m	1:298.3	中华人民共和国成立后
国际大地测量 (IAG) 和地球物理学联合会 (IUGG) 第 16 届大会推荐值	1975 年	6 378 140 m	1:298.257	1980 年后
WGS-84 椭球体 IAG&IUGG 第 17 届大会推荐值	1984 年	6 378 137 m	1:298.257	GPS

由于地球椭球体的扁率很小，当测区面积不大时，可以把地球椭球体当作圆球体看待，半径 R 按下式计算：

$$R = (2a + b) / 3 \quad (1-3)$$

其近似值为 6 371 km。

1.3 地面点位的确定

地球表面上各种地物和地貌都是由不同形状的面连接而成的，而这些面的位置是由具有代表性的特征点连接而成的轮廓线所决定的。测量的主要工作实际上就是确定地面特征点的空间位置。地面点的空间位置一般采用三个参数表示，分别由坐标（二个参数量）和高程（一个参数）组成。坐标表示地面点沿着投影线（铅垂线或法线）投影到基准面（大地水准面、椭球面或平面）上的位置。高程表示地面点沿投影线到达基准面的距离。

地面点的空间坐标与选用的基准面及坐标系有关。测量上常用的坐标系（二维）有地理坐标系、平面直角坐标系，以及高程系（一维）。

1.3.1 地理坐标系

地理坐标系是用经度、纬度表示点在地球表面的位置，坐标值不能直接测定，只能根据基准面上基准点的起始数据和观测值来推算。按坐标系所依据的基本线和基本面的不同以及求取坐标的方法不同，地理坐标系又分为天文地理坐标系和大地地理坐标系两种，如图 1-2 所示。

1. 天文地理坐标系

天文地理坐标又称天文坐标，是以大地水准面为基准面，铅垂线为基准线，以天文经度 λ 和天文纬度 φ 表示地面点按铅垂方向投影到大地水准面上的位置。通过地面 P 点的铅垂线，并与地球旋转轴相平行的平面称为天文子午面。如图 1-2 (a) 所示，过地球表面任意一点 P 的天文子午面 $NPKS$ 与首子午面 $NGMS$ （通过英国格林尼治天文台的子午面）之间的二面角，称 P 点的天文经度 λ ；角值 $0^\circ \sim 180^\circ$ ，向东为东经，向西为西经。过 P 点的铅垂线与赤道平面的夹角，称 P 点的天文纬度 φ ；从赤道面起算，角值 $0^\circ \sim 90^\circ$ ，向北为北纬，向南为南纬。

天文经、纬度是用天文观测方法测得的。各点的天文经、纬度是独立的，相互间没有联系。

2. 大地地理坐标系

大地地理坐标又称大地坐标，是以参考椭球面为基准面，法线为基准线，以大地经度 L 和大地纬度 B 表示。如图 1-2 (b) 所示，过地球表面任意一点 P 的大地子午面 $NPKS$ 和首子午面 $NGMS$ 所夹的二面角，称 P 点的大地经度 L 。过 P 点的法线与赤道面的夹角，称 P 点的大地纬度 B 。

大地经、纬度是根据起始大地点（又称大地原点，该点的大地经、纬度与天文经、纬度一致）的大地坐标，用大地测量方法推算而得，与天文经、纬度不同，两者存在微小差异。

1.3.2 平面直角坐标系

1. 高斯平面直角坐标系

大地坐标系建立在参考椭球面的基础上，若将其直接用于测图、工程建设规划、设计、施工

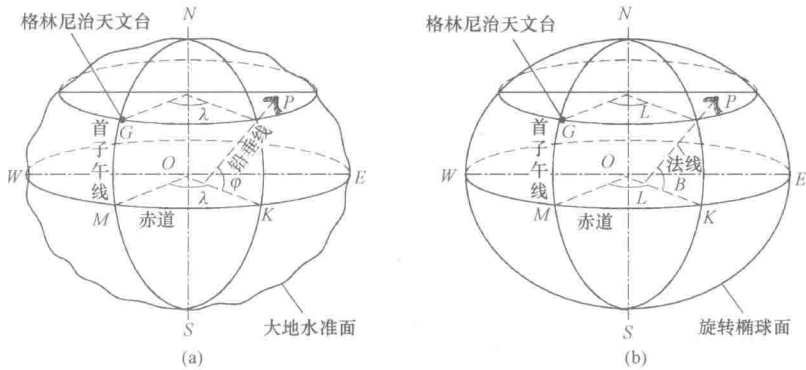


图 1-2 地理坐标系

等，很不方便，因此测量工作最好在平面上进行。所以需要将参考椭球面上大地坐标按一定数学法则归算到平面上，并在平面直角坐标系中采用人们熟知的简单公式计算平面坐标。由参考椭球面上的大地坐标向平面直角坐标转化时采用地图投影理论，我国采用高斯-克吕格投影，简称高斯投影。

高斯投影首先将地球按经线划分为若干带，称为投影带。国际上常按每 6° 或 3° 为带宽对参考椭球面进行投影带划分，称为 6° 带投影或 3° 带投影。如图 1-3 所示，从首子午线开始，自西向东每隔 6° 划为一带，共 60 个投影带，每带均有统一编排的带号，用阿拉伯数字表示。投影带两边的两条经线称为边缘子午线，投影带中央的一条经线称为中央子午线。任意 6° 带中央子午线经度 L 与投影带号 N 的关系为

$$L = 6N - 3 \tag{1-4}$$

反之，已知地面任一点的经度 L ，要计算该点所在的统一 6° 带编号的公式为

$$N = \text{Int} \left(\frac{L+3}{6} + 0.5 \right) \tag{1-5}$$

如图 1-3 所示，3° 带是在 6° 带的基础上划分的，其中央子午线在奇数带时与 6° 带中央子午线重合，每隔 3° 为一带，共 120 个投影带。任意 3° 带中央子午线经度 L' 与投影带号 n 的关系为

$$L' = 3n \tag{1-6}$$

反之，已知地面任一点的经度 L ，要计算该点所在的统一 3° 带编号的公式为

$$n = \text{Int} \left(\frac{L+3}{3} + 0.5 \right) \tag{1-7}$$

我国领土所处的概略经度范围为东经 73°27' ~ 东经 135°09'，根据式 (1-5) 和式 (1-7) 求得的 6° 带投影与 3° 带投影的带号范围分别为 13 ~ 23、24 ~ 45。可见，在我国领土范围内，6° 带投影与 3° 带投影的带号不重叠。

根据需要，投影带还可以按每 1.5° 为带宽对参考椭球面进行划分，称为 1.5° 带投影，任意 1.5° 带中央子午线经度与投影带号的关系，国际上没有统一规定，通常是使 1.5° 带的中央子午线与 3° 带投影的中央子午线或边缘子午线重合。投影带也可采用任意带投影，通常用于建立城市独立坐标系。

如图 1-4 (a) 所示，高斯投影是一种横圆柱正形投影。设想用一个横圆柱套住参考椭球面，并与某一投影带中央子午线相切，横圆柱的中心轴 CC' 通过参考椭球中心 O 并与地轴