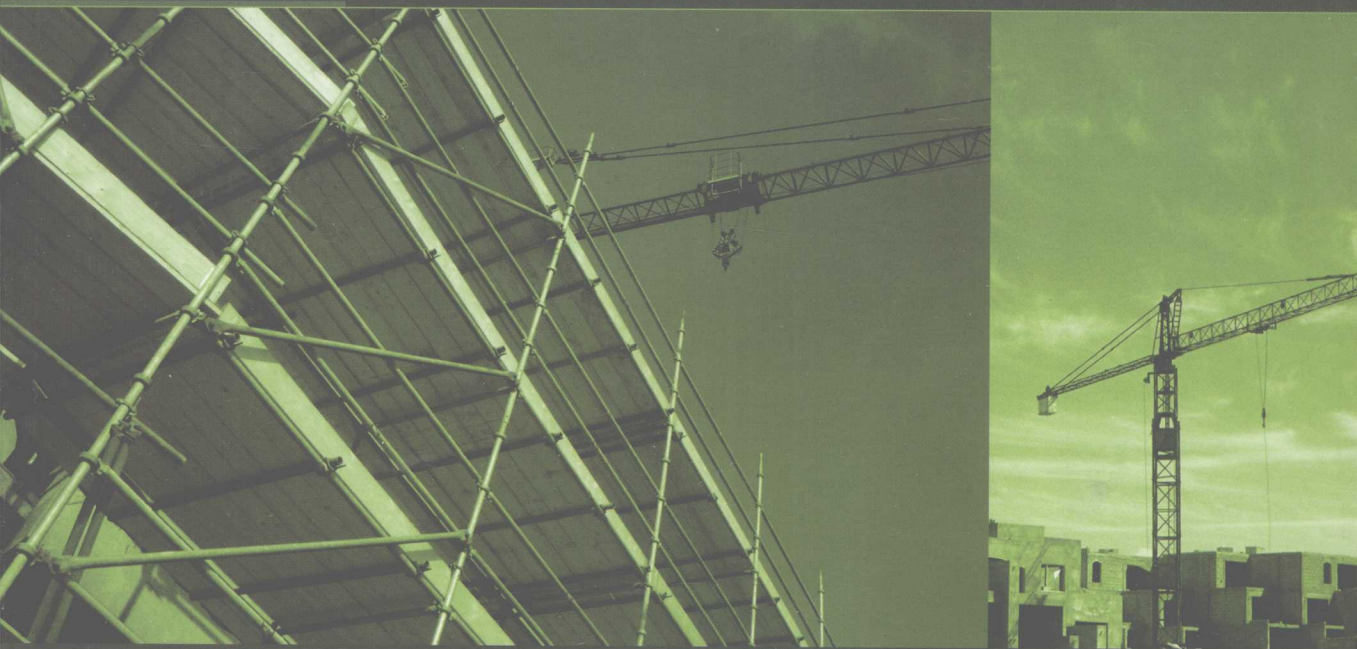


高职高专土建类专业规划教材

GAOZHI GAOZHUAN TUJIANLEI ZHUANYE GUIHUA JIAOCAI



工程测量

杨晓平 主 编



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

高职高专土建类专业规划教材

GAOZHI GAOZHUAN TUJIANLEI ZHUANYE GUIHUA JIAOCAI

工程测量

杨晓平 主编
李艳双 程和平 刘娟 副主编



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

本书以测量的基本理论和基本概念为基石,以基本技能技术和应用方法为主要内容,以突出测量技术在工程中的应用为核心,加强了实践环节的教学内容。本书力求在教材框架上有所创新。

全书共 10 章。其中第 1 章~第 3 章介绍测量及工程测量的基础知识、常规测量仪器的使用和三項基本测量工作方法,以及测量误差基础知识。第 4 章~第 6 章主要讲述小地区控制测量、大比例尺地形图的测绘和地形图的应用,同时也介绍全站仪数字测图方法。第 7 章~第 10 章先介绍施工测量的基本工作及实施程序,再针对几种典型工程类型分别讲述施工测量方法和新仪器、新技术在工程建设中的应用及施工测量管理的相关内容。

本书可作为高职高专土建类专业的工程测量课程教材,也可供土建类相关的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程测量/杨晓平主编. —北京:中国电力出版社,2008

高职高专土建类专业规划教材

ISBN 978-7-5083-7159-7

I. 工… II. 杨… III. 工程测量—高等学校:技术学校—教材 IV. TB22

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 083650 号

中国电力出版社出版发行

北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>

责任编辑:王晓蕾 责任印制:陈焊彬 责任校对:朱丽芳

北京市铁成印刷厂印刷·各地新华书店经售

2008 年 8 月第 1 版·第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16·17.5 印张·437 千字

定价:35.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

本社购书热线电话(010-88386685)

编委会名单

主任 胡兴福

委员 (按姓氏笔画排序)

王延该 卢 扬 刘 宇 安淑兰

杨晓平 李 伟 李 志 何 俊

陈松才 周无极 周连起 周道君

郑惠虹 孟小鸣 赵育红 胡玉玲

钟汉华 晏孝才 徐秀维 高军林

郭超英 崔丽萍 谢延友 樊文广

前言

本教材是根据教育部《关于加强高职高专教育人才培养工作的意见》的文件精神，在学习贯彻《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）精神的基础上，推进工学结合，进行高职高专课程改革与相关教材建设，按照全国高职高专“土建类”专业通用统编规划教材的编写要求，组织全国十多所高职院校编写的系列教材之一。在编写工程中，以建筑工程技术专业的教育标准、培养目标为依据，在总结多年的高职高专工程测量课程教学改革的成功经验的基础上，结合我国建筑工程测量的基本现状，从培养工程技术施工一线的高技能人才这一根本目标出发，编写了本教材。

本教材具有较强的实用性和通用性，着力体现高职教育的特点，力求满足高职教育培养工程技术施工一线的高技能人才的目标要求，强调应用，加强实践环节。在内容上力求讲清基本概念，测量基础理论知识适度、够用，重视基本技能的训练与实践性教学环节，叙述简明，深入浅出，并能运用图表直观表达测量知识内容和仪器操作技巧，便于读者学习和理解，加深印象，尽可能做到通过课堂学习与室外教学实训，即可使学生掌握相关工程测量基本技能，以便最终为工程实践活动服务。

编写本教材，力求在教材框架上有所创新，摒弃了一些在建设工程中较少使用的陈旧的教学内容，吸纳了相对先进的测量技术与方法，并详细介绍了全站仪等现代测绘仪器的使用方法及其在工程施工建设中具体应用方法。为便于教学，对各项测量工作的观测数据的记录与测量成果计算均配有相应的表格及示例。同时为了便于学生及时复习，巩固已学知识，每章后面均附有思考题与习题。

本教材由湖北城市建设职业技术学院杨晓平主编，天津城市管理职业技术学院李艳双、常州工程职业技术学院程和平、太原大学刘娟任副主编，湖北城市建设职业技术学院文学、王玉香，中国第一冶金建设有限责任公司肖治华参加编写。全书由杨晓平统稿及定稿。编写任务分工为：刘娟（第1章、第5章），程和平（第2章2.1、2.7，第6章），李艳双（第2章2.5、第3章、第4章、第10章），文学（第2章2.3、2.6，第9章9.2），王玉香（第2章2.4），肖治华（第9章9.3），杨晓平（第2章2.2、第7章、第8章、第9章9.1）。

中国地质大学徐景田、南昌市城市规划设计研究总院吴晓群为主审，他们严谨、细致、认真地对全书进行了审阅，并提出了许多宝贵意见，在此表示衷心的感谢。

在本书编写过程中，得到了编者所在学院、中国电力出版社有关领导及编辑的鼓励与支持，同时还收集了大量的资料，参阅并借鉴了许多同类教材的相关内容。在此，一并表示真挚的谢意。

限于编者水平、经验及时间，书中难免存在一些不妥和错误之处，恳请读者及同行批评指正。

编者

目 录

前言

第1章 绪论	1
1.1 测量学及工程测量学研究的对象和基本任务	1
1.1.1 测量学研究对象及主要作用	1
1.1.2 测量学的学科分类	1
1.1.3 工程测量学研究的对象及基本任务	2
1.2 地面点位的确定	3
1.2.1 地球形状和大小	3
1.2.2 地面点位的确定方法	4
1.2.3 地面点位确定的三要素及测量基本工作	8
1.3 用水平面代替水准面的限度	9
1.3.1 水准面曲率对水平距离的影响	9
1.3.2 水准面曲率对水平角度的影响	9
1.3.3 水准面曲率对高程的影响	10
1.4 测量工作的组织原则和工作程序	10
小结	12
思考题与习题	13
第2章 测量仪器及测量基本工作方法	14
2.1 水准测量与水准仪	14
2.1.1 水准测量原理	14
2.1.2 水准测量的仪器和工具	16
2.1.3 DS ₃ 型微倾式水准仪的使用	21
2.1.4 普通水准测量	23
2.1.5 水准仪的检验与校正	30
2.2 角度测量与经纬仪	33
2.2.1 角度测量原理	34
2.2.2 DJ ₆ 经纬仪及使用	35
2.2.3 水平角观测	40
2.2.4 竖直角观测	43
2.2.5 经纬仪的检验与校正	45
2.3 激光铅垂仪	49
2.3.1 仪器的特点及用途	49
2.3.2 仪器的基本结构	49
2.3.3 仪器的使用方法	49

2.4 钢尺与普通量距	50
2.4.1 钢尺及相关测距工具	50
2.4.2 普通钢尺量距方法	51
2.5 全站仪	55
2.5.1 概述	55
2.5.2 全站仪的结构和功能	55
2.5.3 全站仪的使用	59
2.5.4 全站仪使用的注意事项	61
2.6 全球卫星定位系统简介及静态 GPS 定位应用	62
2.6.1 全球卫星定位系统简介	62
2.6.2 全球卫星定位系统的组成	62
2.6.3 卫星定位测量	63
2.7 方向测量	68
2.7.1 直线定向概述	68
2.7.2 标准方向	68
2.7.3 直线定向的表示方法	68
2.7.4 罗盘仪测定直线磁方位角的方法	70
小结	71
思考题与习题	72
第3章 测量误差基本知识	75
3.1 测量误差概述	75
3.1.1 测量误差的概念	75
3.1.2 测量误差产生的原因	75
3.1.3 测量误差的分类与处理原则	76
3.1.4 偶然误差的特性	77
3.2 衡量精度的指标	78
3.2.1 中误差	79
3.2.2 极限误差	79
3.2.3 相对误差	80
小结	80
思考题与习题	81
第4章 小地区控制测量	82
4.1 控制测量概述	82
4.1.1 平面控制测量	83
4.1.2 高程控制测量	85
4.1.3 控制测量的一般作业流程	87
4.1.4 平面控制网的定向、定位与坐标正反算	87
4.2 导线测量	89
4.2.1 导线的布设形式及图根导线测量技术要求	89

4.2.2 图根导线测量的外业工作	91
4.2.3 图根导线的内业计算	92
4.2.4 导线测量错误的检查方法	97
4.3 交会定点测量	98
4.3.1 前方交会	99
4.3.2 后方交会	99
4.3.3 测边交会	100
4.4 高程控制测量	101
4.4.1 等级水准测量的观测	101
4.4.2 三角高程测量	104
小结	105
思考题与习题	106
第5章 大比例尺地形图测绘	108
5.1 碎部测图方法	108
5.1.1 经纬仪测图	109
5.1.2 地面数字测图	113
5.2 地物测绘	115
5.2.1 地物测绘的一般原则	115
5.2.2 地物符号	115
5.2.3 地物测绘	118
5.3 地貌测绘	121
5.3.1 等高线	121
5.3.2 等高线的测绘	125
5.4 房产分幅图测绘	127
5.4.1 房产分幅图的内容与测绘要求	127
5.4.2 房产分幅图测绘	128
5.4.3 房产分丘图	128
5.4.4 房产分层分户图	129
小结	129
思考题与习题	130
第6章 大比例尺地形图的应用	131
6.1 地形图基本的应用	131
6.1.1 确定点的平面直角坐标	131
6.1.2 确定两点间的水平距离	132
6.1.3 确定直线的坐标方位角	132
6.1.4 确定点的高程	132
6.1.5 确定图上直线的坡度	133
6.1.6 确定地形图上任意区域的面积	133
6.2 地形图在工程中的应用	136

6.2.1 按限制的坡度选定最短线路	136
6.2.2 按一定方向绘制纵断面图	136
6.2.3 确定汇水面积	137
6.3 地形图在平整土地中的应用	138
6.3.1 方格网法	138
6.3.2 断面法	139
小结	140
思考题与习题	141
第7章 施工测量基础知识	143
7.1 施工测量概述	143
7.1.1 施工测量工作内容	143
7.1.2 施工测量精度确定	145
7.2 施工测量基本工作方法	148
7.2.1 水平角度的测设方法	148
7.2.2 水平距离的测设	148
7.2.3 施工场地标高测设	149
7.2.4 坡度线测设方法	151
7.3 点的平面位置测设	152
7.3.1 极坐标法	153
7.3.2 直角坐标法	153
7.3.3 角度交会法	154
7.3.4 距离交会法	154
7.3.5 十字方向线法	154
7.3.6 全站仪极坐标法(放样程序)	155
7.4 曲线测设	155
7.5 施工控制测量	160
7.5.1 施工控制测量概述	160
7.5.2 平面控制测量	164
7.5.3 施工场地高程控制测量	170
小结	171
思考题与习题	171
第8章 建筑施工测量	173
8.1 建筑施工测量工作程序	173
8.2 施工测量方案的编制	175
8.2.1 施工测量方案的编制依据	175
8.2.2 施工测量方案包含的基本内容	175
8.2.3 某工程项目施工测量方案实例	176
8.3 一般民用建筑施工测量	182
8.3.1 民用建筑施工测量概述	182

8.3.2	建筑物平面位置定位	185
8.3.3	建筑物细部放线	186
8.3.4	基础工程施工测量	187
8.3.5	建筑物墙体施工测量	189
8.4	高层建筑施工测量	190
8.4.1	高层建筑施工测量的特点	190
8.4.2	高层建筑施工测量的实施步骤	191
8.5	工业建(构)筑物施工测量	194
8.5.1	编制厂房矩形控制网测设方案	194
8.5.2	厂房控制网的测设	196
8.5.3	厂房外轮廓轴线及柱列轴线测设	197
8.5.4	厂房柱基础施工测量	197
8.5.5	厂房预制构件安装测量	200
8.5.6	结构安装测量精度要求及设备安装测量的主要技术要求	203
8.6	污水处理构筑物施工测量	204
8.6.1	进水构筑物施工测量	204
8.6.2	沉淀构筑物施工测量	206
8.6.3	附属工程施工测量	207
8.7	建筑物变形观测	208
8.7.1	变形观测的定义及工作意义	208
8.7.2	建筑物变形观测的内容及技术要求	209
8.7.3	建筑物变形观测工作的一般规定	211
8.7.4	垂直位移观测	212
8.7.5	建筑物及深基坑水平位移观测	218
8.7.6	建筑物倾斜观测	219
8.7.7	挠度和裂缝观测	220
8.8	竣工测量	221
8.8.1	概述	221
8.8.2	竣工测量的内容	222
8.8.3	竣工总平面图的编绘方法	222
8.8.4	竣工总平面图附件	223
	小结	223
	思考题与习题	223
第9章	管道工程、道路与桥梁工程测量	225
9.1	管道工程测量	225
9.1.1	管道中线测量	225
9.1.2	管道纵、横断面测量	226
9.1.3	管道施工测量	227
9.1.4	顶管施工测量	230

9.1.5 管道竣工测量	232
9.2 道路工程测量	232
9.2.1 道路工程勘测设计阶段的测量工作	232
9.2.2 道路工程施工阶段的测量工作	243
9.3 桥梁施工测量	254
9.3.1 桥梁施工控制测量	254
9.3.2 桥梁施工测量	255
小结	259
思考题与习题	260
第10章 施工测量管理	262
10.1 工程计量管理	262
10.2 施工阶段测量管理制度的建立	263
10.2.1 组织管理制度	263
10.2.2 技术管理制度	263
10.2.3 仪器管理制度	264
10.3 测量管理人员的工作职责	264
10.4 测量放线、验线工作的基本准则	264
10.4.1 建筑施工测量放线工作的基本准则	264
10.4.2 建筑施工测量验线工作的基本准则	265
10.4.3 施工测量放线检查和验线	265
10.5 测量资料的收集与管理	266
10.5.1 测量记录	266
10.5.2 数据计算	266
10.5.3 报验资料	266
10.5.4 存档资料	267
10.6 其他	267
10.6.1 与测量相关的法律、规范	267
10.6.2 对测量员的要求	268
10.6.3 测量仪器保养和使用制度	268
小结	268
思考题与习题	269
参考文献	270

第1章 绪论

导言：本章内容包括测量学及工程测量学研究对象和基本任务、地面点位的确定方法、测量的基本工作方法及测量工作的组织原则。通过本章学习，要明确测量学的研究对象和工程测量的基本任务，了解地球的形状和大小，看懂确定地面点位的测量原理和方法，并对测量工作的基本内容、组织原则和工作程序有初步的认识。

1.1 测量学及工程测量学研究对象和基本任务

1.1.1 测量学研究对象及主要作用

测量学是研究测定和推算地面的几何位置、地球的形状和大小，并对地球整体及其表面和外层空间中的各种自然和人造物体上与地理空间分布有关的信息进行采集、处理、管理、更新及利用的理论和技术的学科，是地球科学的重要组成部分。

测量学是从人类生产实践中发展起来的一门历史悠久的学科，是人类与大自然作斗争的一种手段。它的主要任务有三个：一是研究确定地球的形状和大小，为地球科学提供必要的数据和资料；二是将地球表面的地物地貌测绘成图；三是将图纸上的设计成果测设至现场。

为了对地球及其地表进行研究，在测量学中，将地表构成分为地物和地貌两部分。

所谓地物是指地面上天然或人工形成的物体，它包括平原、湖泊、河流、海洋、房屋、道路、桥梁等；而地貌则是指地表高低起伏的形态，它包括山地、丘陵和平原等。地物和地貌总称为地形。

传统的测量手段分为测定和测设两方面。测定又称地形测绘，是指使用测量仪器和工具，用一定的测绘程序和方法对地表或其上的局部地区的地形进行量测，计算出地物和地貌的位置（通常用三维坐标表示），按一定比例尺及规定的符号将其缩小绘制成地形图，供科学研究和工程建设规划设计使用。测设则刚好相反，它是使用测量仪器和工具，按照设计要求，采用一定的方法，将在地形图上设计出的建筑物和构筑物的位置在实地标定出来，作为施工的依据。

测绘工作常被人们称为建设的尖兵，这是由于不论是国民经济建设还是国防建设，其勘测、设计、施工、竣工及保养维修等阶段都需要测绘工作，而且都要求测绘工作走在这类任务的前面。测绘科学在保卫祖国的战斗中也起着很重要的作用，如地形图就是战略部署的重要资料之一。随着科学技术的日益发展，测绘科学在国民经济和国防建设中的作用也日益增大。在地震预测预报、海底资源勘测、近海油井钻探、地下电缆埋设、灾情监视与调查、宇宙空间技术以及其他科学研究方面无不需要测绘工作的配合。

1.1.2 测量学的学科分类

测量学按照研究范围、研究对象及采用的技术手段的不同，分为以下几个分支学科：

1. 普通测量学（地形测量学）

普通测量学是研究将地球自然表面局部地区的地物和地貌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，其主要内容包括角度测量、距离测量、水准测量、控制测量、地形图测绘及地形图的应用。按成图方式的不同地形测图分为模拟测图和数字测图。

20 世纪 80 年代，随着全站仪以及计算机技术的迅速发展，大比例尺地形图测绘技术已由传统的白纸测图向数字测图方向发展。现在地面数字测图已取代了传统的白纸测图技术，测量学的内容得到了进一步发展和更新。

2. 大地测量学

大地测量学是研究地球整体的形状、大小、地球重力场测定和按一定坐标系建立国家统一的点位控制网，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。

3. 摄影测量学

摄影测量学是研究利用摄影或遥感技术获取地物和地貌的影像并进行分析处理，以绘制地形图或获得数字化信息的理论和方法的学科，其中航空摄影测量是测绘中、小比例尺国家基本地形图的主要方法，现在已逐步应用到大比例尺地形图的测绘中；而近景摄影测量已经在古建筑测绘、建（构）筑物的变形观测、动态目标测量及工业测量等许多方面得到了广泛的应用。

4. 工程测量学

工程测量学是研究在工程建设、工业和城市建设以及资源开发中，在规划、勘测设计、施工建设和运营管理各个阶段所进行的控制测量、地形和有关信息的采集和处理（即大比例尺地形图测绘）、地籍测绘、施工放样、设备安装、变形观测及分析和预报等的理论、技术和方法，以及研究对测量和工程建设有关的信息进行管理和使用的学科。它是测绘学在国民经济和国防建设中的直接应用。

工程测量学是一门应用学科，按其研究对象可分为：建筑工程测量、铁路工程测量、公路工程测量、桥梁工程测量、隧道工程测量、水利工程测量、地下工程测量、管线（输电线、输油管）工程测量、矿山测量、军事工程测量、城市建设测量以及三维工业测量、精密工程测量、工程摄影测量等。

一般的工程建设分为规划设计、施工建设和运营管理三个阶段。其相应的工程测量任务也包括这三阶段所进行的各种测量工作。

1.1.3 工程测量学研究的对象及基本任务

工程测量是指各种建（构）筑物、道路、桥梁等工程在勘测、设计、施工和运营管理各阶段进行的各项测量工作，其主要任务包括：

（1）规划设计阶段的大比例尺地形图测绘。把工程建设区域内的各种地面物体的位置、形状以及地面的起伏形态，依据规定的符号和比例尺绘制成地形图，为工程建设的规划设计提供必要的图纸和资料。

（2）工程施工阶段的施工测量工作。把图纸上已设计好的各种工程的平面位置和高程，按设计要求在地面上标定出来，作为施工的依据，并配合施工进行各种施工标志的测设工作，确保施工质量；施测竣工图，为工程验收、日后扩建和维修提供资料。

（3）工程施工及营运期间的变形观测工作。对于一些重要的工程，在施工和运营期间，为了确保安全，还需要进行变形观测工作。

总之,工程测量工作是贯穿于工程建设的整个过程的,这就要求从事工程建设的人员应具备必要的测量知识与技能,方能胜任相应的测量工作任务及岗位。

1.2 地面点位的确定

地面点位即地面上点的空间位置。测量工作的基本任务是确定地面点的空间位置。由空间几何学可知,地面点位需要三个量来描述,并且需结合地球的形状及大小来具体研究。

1.2.1 地球形状和大小

测量学的主要研究对象是地球的自然表面,但地球表面极不规则,有高山、丘陵、平原、盆地、湖泊、河流和海洋。世界第一高峰珠穆朗玛峰高达 8844.43m,而位于太平洋西部的马里亚纳海沟深达 11022m。尽管有这样大的高低起伏,但相对于地球庞大的体积和半径来说仍很微小,可以忽略不计。地球的形状是极其复杂的,通过长期的测绘工作和科学研究,人们了解到地球是一个两极略扁的椭球体,地球表面上海洋面积约占 71%,陆地面积约占 29%。因此,测量中把地球形状看作是由静止的海水面向陆地延伸并围绕整个地球所形成的某种形状。

1. 大地水准面

如图 1-1(a)所示,地球表面任一质点都同时受到两个力的作用,其一是地球自转产生的惯性离心力;其二是整个地球质量产生的引力。这两种力的合力称为重力。引力方向指向地球质心,如果地球自转角速度是常数,惯性离心力的方向垂直于地球自转轴向外,重力方向则是两者合力的方向。重力的作用线称为铅垂线。用细绳悬挂一个锤球,其静止时所指示的方向即为悬挂点的铅垂方向。

地球上处于自由静止状态的水面称为水准面。从物理学知道,水准面是受地球重力影响形成的重力等位面,其特点是水准面上任意一点的铅垂线方向(即重力方向)都与该点的曲面相垂直。在地球表面重力作用空间,通过任何高度位置的点都有一个水准面,因此水准面有无数个。把一个假想的、与不受风浪和潮汐影响的静止的平均海水面向陆地延伸且包围整个地球的特定重力等位面称为大地水准面。由该曲面所包裹起来的地球体部分称为大地体。

大地水准面和铅垂线是测量外业工作所依据的基准面和基准线。

2. 参考椭球体

由于地球引力的大小与地球内部的质量有关,而地球内部的质量密度分布又不均匀,致使地球上各点的铅垂线方向产生不规则的变化,因而大地体水准面实际上是一个略有起伏的不规则曲面,该曲面无法用数学公式精确表达。如果将地球表面上的物体投影到这个复杂曲面上,计算起来将非常困难。

长期测量实践研究表明,地球形状极近似于一个两极略扁的旋转椭球体,即一个椭圆绕其短轴旋转而形成的球体,而旋转椭球面是可以数学公式准确表达的。由此,为了测量数据处理的方便,在测量工作中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来代替大地水准面作为测量计算的基准面[见图 1-1(b)]。

代表地球形状和大小的旋转椭球称为地球椭球。与大地水准面最接近的地球椭球称为总地球椭球。与某个区域如一个国家大地水准面最为密合的椭球称为参考椭球,其椭球面称为参考椭球面。

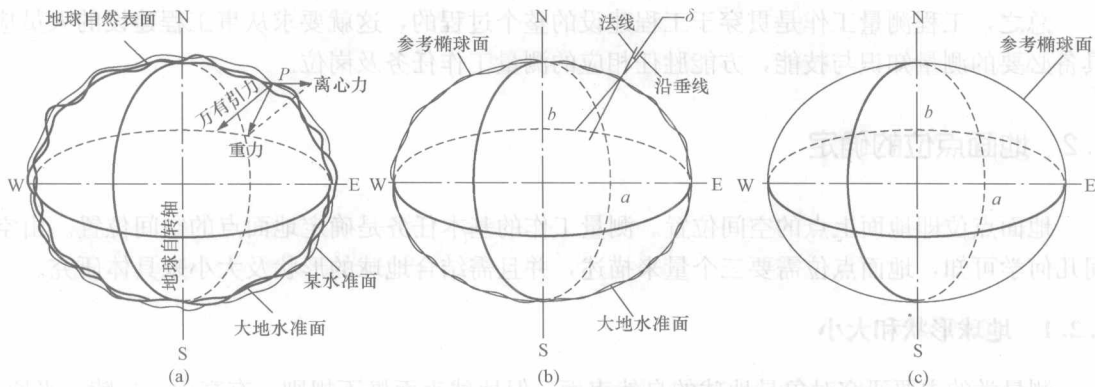


图 1-1 地球自然表面、大地水准面和旋转椭球面

参考椭球面是由长半轴为 a 、短半轴为 b 的椭圆 NESW 绕其短轴 NS 旋转而成的旋转椭球面,如图 1-1 (c) 所示。

由地表任一点向参考椭球面所作的垂线称为法线。除大地原点以外,地表任一点的铅垂线和法线一般不重合,其夹角称为垂线偏差,如图 1-1 (b) 所示。

决定参考椭球面形状和大小的元素是:椭圆的长半轴 a 、短半轴 b 和扁率 α 等,如图 1-1 (c) 所示,其关系为

$$\alpha = \frac{a-b}{a} \quad (1-1)$$

目前我国采用的地球椭球体元素值是 1975 年“国际大地测量与地球物理联合会”(IUGG) 通过并推荐的值:

$$a = 6378140\text{m}, b = 6356755\text{m}, \alpha = 1 : 298.257$$

由于参考椭球体的扁率很小,当测量的区域面积(以下简称测区)不大时,可以将地球近似地看作半径为 6371km 的圆球体。

1.2.2 地面点位的确定方法

测量工作的基本任务(即实质)是确定地面点的空间位置。为了确定地面点的空间位置,需要建立测量坐标系。一个地面点的空间位置需要三个坐标量来表示,所以确定地面点的空间位置的实质就是确定地面点在空间坐标系中的三维坐标。

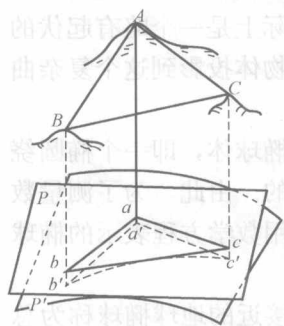


图 1-2 确定地面点位示意图

在常规测量工作中,地面点位的确定一般是通过求出地面点投影到参考椭球面(或水平面)上的投影点的平面位置(即平面坐标两个参数)和地面点沿铅垂线方向到高度基准面的垂直距离(即高程)的方法来实现。

如图 1-2 所示,设想将地面上高度不同的 A、B、C 三个点分别沿铅垂线方向投影到大地水准面 P' 上,得到相应的投影点 a' 、 b' 、 c' ,这些点分别表示地面点在球面上的相应位置。

如果所要确定的地形范围相对较小,我们也可以在测区的中央作一与水准面 P' 相切的水平面 P ,过 A、B、C 各点沿其铅垂线向此水平面作投影,得到相应的投影点 a 、 b 、 c ,这些点便代表地面点在

水平面上的相应位置。

由此可见,地面点的空间位置可以用点在水准面或水平面上的位置及点到高度基准面的铅垂距离来确定。

1. 地面点平面位置的确定

(1) 独立(假定)平面直角坐标系。在普通测量工作中,当测量区域较小且相对独立时(较小的建筑区和厂矿区),通常把较小区域的椭球曲面当成水平面看待,即用过测区中部的水平面代替曲面作为确定地面点位置的基准,如图 1-3 (a) 所示。在此水平面内建立一个平面直角坐标,以地面投影点的坐标来表示地面点的平面位置,即地面点在水平面上的投影位置可以用该平面的直角坐标系中的坐标 x 、 y 来表示。这样选择建立的坐标系对测量工作的计算和绘图都较为简便。

测量上通常以地面点的子午线方向为基准方向,由子午线的北端起按顺时针确定地面直线的方位,使平面直角坐标系的纵坐标轴 X 与子午线北方一致,象限排列如图 1-3 (b) 所示。这样选择直角坐标系可使数学中的解析公式不做任何变动地应用到测量计算中。显然,坐标纵轴(南北方向) X 向北为正,向南为负;坐标横轴 Y (东西方向) 向东为正,向西为负。平面直角坐标系的原点可按实际情况选定,通常把原点选在测区西南角。其目的是使整个测区内各点的坐标均为正值。在此,应注意测量坐标系与数学坐标系的不同,数学坐标系的象限关系及坐标轴名称如图 1-3 (c) 所示。

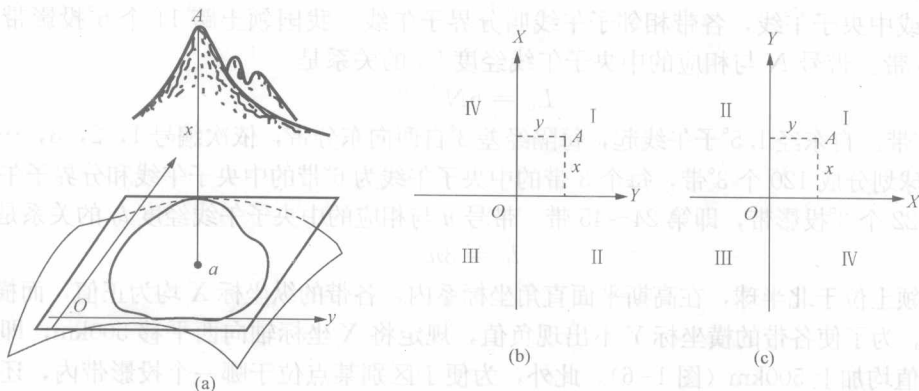


图 1-3 独立平面直角坐标系原理

(a) 测量坐标建立原理; (b) 测量坐标系; (c) 数学坐标系

(2) 高斯平面直角坐标系。在解决较大范围的测量问题时,如果直接将地面点投影到水平面上进行计算,受地球实际曲体的影响,会产生较大的投影变形,由此导致地面点位确定不准。为了克服曲面投影的影响,应将地面上的点首先投影到椭圆柱面上,再按一定的条件投影到平面上来,形成统一的平面直角坐标系,这样可以得到可靠的测量成果。在我国,通常采用高斯投影的方法来解决这个问题。

高斯投影由德国测量学家高斯首先提出,其基本思想如图 1-4 所示。设想有一个椭圆柱面横套在地球椭球体外面,使它与椭球上某一子午线(该子午线称为中央子午线)相切,椭圆柱的中心轴通过椭球体中心,然后用一定的投影方法将中央子午线两侧各一定经差范围内的地区投影到椭圆柱面上,再将此柱面沿其母线剪开并展成平面,此平面即为高斯投影平面。

在高斯投影面上,中央子午线和赤道的投影都是直线。以中央子午线和赤道的交点 O

作为坐标原点,以中央子午线的投影为纵坐标轴 X (规定 X 轴向北为正),以赤道的投影为横坐标轴 Y (规定 Y 轴向东为正),由此便建立了高斯平面直角坐标 (图 1-4)。

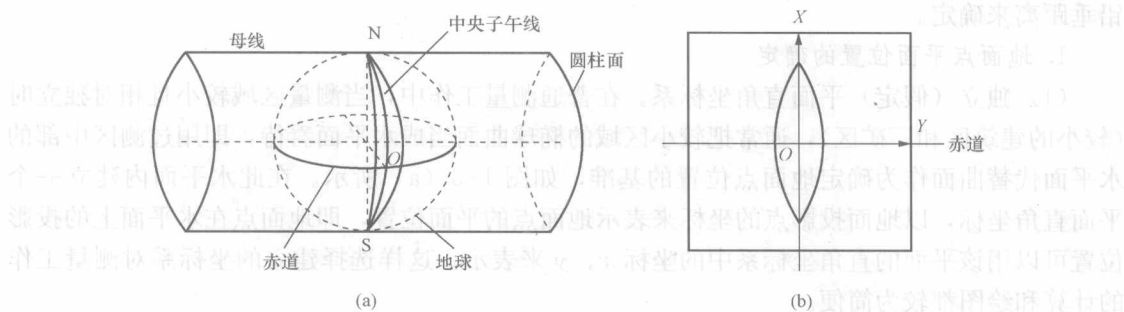


图 1-4 高斯投影及高斯平面直角坐标系

(a) 高斯投影原理; (b) 高斯平面直角坐标系

高斯投影中,除中央子午线外,各点均存在长度变形,且距中央子午线越远,长度变形越大。为了控制长度变形,将地球椭球面按一定的经度差分成若干范围不大的带,称为投影带,带宽一般分为经差 6° 带和 3° 带。

1) 6° 带。如图 1-5 所示,高斯投影 6° 带是将地球从 0° 子午线起,每隔经差 6° 自西向东分带,依次编号 1, 2, 3, ..., 60, 将整个地球划分成 60 个 6° 带,每带中间的子午线称为轴子午线或中央子午线,各带相邻子午线叫分界子午线。我国领土跨 11 个 6° 投影带,即为第 13~23 带。带号 N 与相应的中央子午线经度 L_0 的关系是

$$L_0 = 6N - 3 \quad (1-2)$$

2) 3° 带。自东经 1.5° 子午线起,每隔经差 3° 自西向东分带,依次编号 1, 2, 3, ..., 120, 将整个地球划分成 120 个 3° 带,每个 3° 带的中央子午线为 6° 带的中央子午线和分界子午线。我国领土跨 22 个 3° 投影带,即第 24~45 带。带号 n 与相应的中央子午线经度 l_0 的关系是

$$l_0 = 3n \quad (1-3)$$

我国领土位于北半球,在高斯平面直角坐标系内,各带的纵坐标 X 均为正值,而横坐标 Y 有正有负。为了使各带的横坐标 Y 不出现负值,规定将 X 坐标轴向西平移 500km,即所有点的 Y 坐标值均加上 500km (图 1-6)。此外,为便于区别某点位于哪一个投影带内,还应在横坐标前冠以投影带号。以此建立了我国的国家统一坐标系——高斯平面直角坐标系。

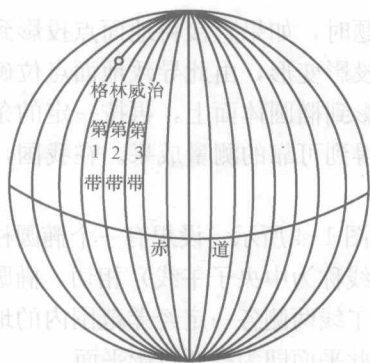


图 1-5 高斯 6° 带投影

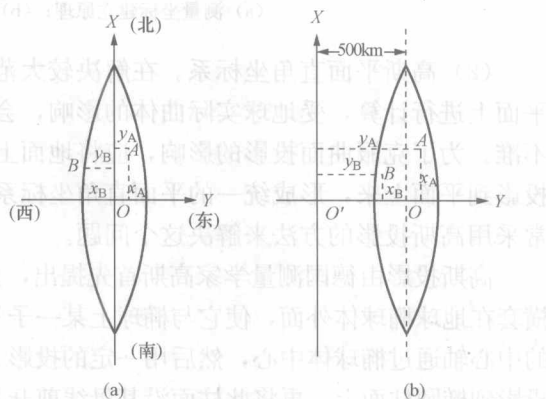


图 1-6 高斯平面直角坐标系