

中央财政支持专业提升服务能力项目课程建设

水利工程测量

主 编 赵桂生
副主编 刘爱军
主 审 彭军还



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

中央财政支持专业提升服务能力项目课程建设

水利工程测量

主 编 赵桂生

副主编 刘爱军

主 审 彭军还



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书是中央财政支持专业提升服务能力项目——水利工程测量课程建设成果之一。本书是以职业岗位工作过程为导向、以职业能力为依据，采用理论与实践一体化教学方法的学习形式编写的校企合作开发教材。

本书在介绍基本测量方法及相关仪器的使用基础上，着重介绍了水利工程施工测量的有关规定、要求和测量方法。全书共分十二个学习情境，分别为：工程测量基础，测量仪器及使用，三项基本测量工作，测量精度评定，小区域控制测量，大比例尺地形图测绘，数字测图系统，地形图的识读与应用，施工测量基本方法，渠道测量，水库大坝施工测量，水闸施工测量。

本书可作为高职高专水利工程施工技术专业的教学用书，也可作为土建行业职业岗位的培训教材，还可供专业人员及成人教育师生参考使用。

图书在版编目（C I P）数据

水利工程测量 / 赵桂生主编. -- 北京：中国水利水电出版社，2014.1
中央财政支持专业提升服务能力项目课程建设
ISBN 978-7-5170-1674-8

I. ①水… II. ①赵… III. ①水利工程测量—高等学校—教材 IV. ①TV221

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第012407号

书 名	中央财政支持专业提升服务能力项目课程建设 水利工程测量
作 者	主编 赵桂生 副主编 刘爱军 主审 彭军还
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市北中印刷厂
规 格	184mm×260mm 16开本 15.5印张 368字
版 次	2014年1月第1版 2014年1月第1次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	35.00元

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究



前 言

本书是中央财政支持专业提升服务能力项目——水利工程测量课程建设成果之一。本书以职业岗位工作过程为导向、以职业能力为依据,采用理论与实践一体化教学方法的学习形式,并根据高职教育规律和学生的认知规律,认真总结多年的教学与实践体会和经验,在广泛征求了长期从事工程一线的测量人员和部分高校教师的意见的基础上,编写的校企合作开发教材。

编写人员在与北京房山水务局、北京通成达水务建设有限公司、北京燕波工程管理有限公司、碧鑫水务公司等单位工程技术人员座谈的基础上,经过认真的讨论,确定编写大纲和原则,体现理论够用、突出技能、实用性强的特点,以提高施工技术人员测量基本能力为目标,力求学以致用。在编写过程中,引用了最新的标准、规范及规程,力求做到通俗易懂、图文并茂;并加注了仪器使用的小窍门、重点内容的注意事项和测量技能训练等内容,便于读者掌握。

全书共分十二个学习情境,内容包括:工程测量基础,测量仪器及使用,三项基本测量工作,测量精度评定,小区域控制测量,大比例尺地形图测绘,数字测图系统,地形图的识读与应用,施工测量基本方法,渠道测量,水库大坝施工测量,水闸施工测量。

本书由北京农业职业学院赵桂生任主编,北京农业职业学院刘爱军任副主编,参加本书编写的还有碧鑫水务公司王向英、碧鑫水务公司王占良、密云县水务局石城水务站马学冬,中国地质大学(北京)彭军还教授担任主审。全书由赵桂生执笔完成并校对。感谢所有为本书编写付出努力的人员,感谢北京房山水务局、北京通成达水务建设有限公司、北京燕波工程管理有限公司、碧鑫水务公司、密云县水务局石城水务站等单位的大力支持。

由于编者水平有限,加之时间仓促,书中难免有错误和不妥之处,敬请读者批评指正。

编者

2013年7月

于北京



目 录

前 言

学习情境一 工程测量基础	1
工作任务一 测量学概述	1
工作任务二 地面点位的确定	3
工作任务三 测量工作的原则	10
工作任务四 施工测量的作用、特点和原则	11
工作任务五 施工测量的有关要求	13
工作任务六 学习测量学的目的和要求	17
技能训练	18
学习情境二 测量仪器及使用	19
工作任务一 水准仪的构造及使用	19
工作任务二 经纬仪的构造及使用	27
工作任务三 全站仪的构造及使用	35
技能训练	50
学习情境三 三项基本测量工作	52
工作任务一 水准测量	52
工作任务二 角度测量	64
工作任务三 钢尺量距测量	72
工作任务四 直线定向	77
工作任务五 视距测量	81
技能训练	82
学习情境四 测量精度评定	85
工作任务一 精度评定概述	85
工作任务二 偶然误差特性	87
工作任务三 评定精度的标准	88
工作任务四 平均值及中误差	90
工作任务五 基本测量误差分析	93
技能训练	96
学习情境五 小区域控制测量	98
工作任务一 控制测量概述	98

工作任务二	导线测量	102
工作任务三	三(四)等水准测量	115
技能训练		118
学习情境六	大比例尺地形图测绘	119
工作任务一	地形图的比例尺	119
工作任务二	地物及其表示方法	121
工作任务三	地貌及其表示方法	123
工作任务四	测图前的准备工作	127
工作任务五	碎部点的选择和立尺线路	128
工作任务六	地形图的测量方法和要求	130
工作任务七	地形图的绘制与整饰	134
技能训练		138
学习情境七	数字测图系统	139
工作任务一	数字测图概述	139
工作任务二	数字测图的过程	144
工作任务三	全野外数字测量	146
工作任务四	纸质图数字化	152
技能训练		154
学习情境八	地形图的识读与应用	155
工作任务一	阅读地形图的基本知识	155
工作任务二	地形图的分幅与编号	158
工作任务三	地形图应用的基本知识	162
工作任务四	面积量算	165
技能训练		175
学习情境九	施工测量基本方法	176
工作任务一	已知水平距离的测设	176
工作任务二	已知水平角的测设	177
工作任务三	已知高程的测设	180
工作任务四	已知坡度的测设	182
工作任务五	平面点位的测设	184
技能训练		191
学习情境十	渠道测量	193
工作任务一	渠道测量概述	193
工作任务二	中线测量	196
工作任务三	纵横断面测量	204
工作任务四	纵横断面图的绘制	209

工作任务五	填挖土方量计算.....	211
工作任务六	渠道施工测量.....	212
工作任务七	管道施工测量.....	213
技能训练		215
学习情境十一	水库大坝施工测量	216
工作任务一	土坝施工测量.....	217
工作任务二	混凝土坝施工测量.....	224
技能训练		232
学习情境十二	水闸施工测量	233
工作任务一	主轴线的测设和高程控制网的建立.....	233
工作任务二	基础开挖线和闸底板的放样.....	235
工作任务三	闸墩和下游溢流面的放样.....	236
技能训练		238
参考文献		239

学习情境一 工程测量基础

【知识目标】

1. 了解测量的概念、任务和作用
2. 熟悉测量工作的基本原则和基本要求
3. 了解测量学的基本任务，在水利工程建设中的作用
4. 掌握施工测量的作用、特点和原则
5. 掌握施工测量的有关要求

【能力目标】

1. 掌握地面点位确定的基本方法、基本要素
2. 掌握测量记录的基本要求
3. 熟悉测量的基本要求
4. 熟悉施工测量管理人员的工作职责
5. 掌握绝对高程与相对高程的基本特点

工作任务一 测量学概述

一、测量学的定义

测量学是研究地球的形状、大小以及确定地面点空间位置的一门科学。测量一词泛指对各种量的量测，而测量学所要量测的对象是地球的局部表面以至整个地球。由于测量学一般包含测和绘两项内容，所以这门科学又称为测绘科学。测绘学是既要测定地面点的几何位置、地球形状、地球重力场以及地球表面自然形态和人工设施的几何形态，又要结合社会和自然信息的地理分布，研究绘制全球或局部地区各种比例尺的地形图或专题地图的理论和技術。

1. 测量学定义

分为早期定义和当前定义，早期定义是研究地球的形状和大小，确定地面点的坐标的学科；当前定义是研究三维空间各种物体的形状、大小、位置、方向和其分布的学科。

2. 测量学任务

主要任务分为测定和测设两大内容。

(1) 测定。又称测图，是指使用测量仪器和工具，通过测量和计算，得到一系列测量数据，或把地球表面的地形缩绘成地形图，为其他行业提供信息。

(2) 测设。又称放样，是指把图纸上规划设计好的建筑物、构筑物的位置（包括方位、大小、形状、高低等）在地面上标定出来，作为施工的依据（施工过程中同样需要测量）。



二、测量学的分类

随着生产和科学技术的发展,测量学包括的内容也越来越丰富,按其研究对象和应用范围,可以分为以下几类。

(1) 天文测量学。研究测定恒星的坐标,以及利用恒星确定观测点的坐标(经度、纬度等)的学科。

(2) 大地测量学。研究在广大区域的范围内建立国家大地控制网,以测定地球的形状、大小和地球重力场的学科。大地测量必须考虑地球曲率的影响。近年来,因人造地球卫星的发射和科学技术的发展,大地测量学又分为常规大地测量学和卫星大地测量学。

(3) 普通测量学。研究地球表面较小区域内的测量与制图工作的基本理论、技术和方法的学科。在此区域内可不考虑地球曲率的影响而将地球表面视为平面,其具体任务是测绘各种比例尺的地形图和一般的施工测量等。

(4) 工程测量学。研究在工程建设中的勘测、设计、施工、竣工验收和管理各阶段中所进行的各种测量理论、技术和方法的学科。由于测量对象不同,可分为建筑工程测量、水利工程测量、线路工程测量、桥隧工程测量等。

(5) 地形测量学。研究将地球表面局部地区的地貌、地物测绘成地形图和编制地籍图的基本理论和方法。

(6) 摄影测量学。通过摄影和遥感技术获取被摄物体的信息,以确定地物的形状、大小、性质和空间位置并绘制成图的学科。根据测量手段不同,可分为航空摄影测量、航天摄影测量、地面摄影测量和水下摄影测量等。

(7) 海洋测量学。是研究以海洋水体和海底为对象所进行的测量和海洋图编制工作的理论、技术和方法的学科。

(8) 地图制图学。研究利用测量成果制作各种地图的理论、工艺和方法的学科,其内容包括地图编制、整饰及电子地图制作与应用等。

(9) 测量仪器学。研究测量仪器的制造、改进和创新的学科。

三、测量学的任务

水利工程测量是测量学的一个组成部分。它是研究水利工程在勘测设计、施工和运营管理阶段所进行的各种测量工作的理论、技术和方法的学科。水利工程测量学的主要任务包括:

(1) 地形资料。为水利工程规划设计提供所需的地形资料。规划时需提供中、小比例尺地形图及有关信息,建筑物设计时要测绘大比例尺地形图。

(2) 放样依据。要将图上设计好的建筑物按其位置、大小测设于地面,以便据此施工,称为施工放样。

(3) 变形监测。在施工过程中及工程建成后运行管理中,需要对建筑物的稳定性及变化情况进行监测—变形观测,确保工程安全。

测量工作贯穿于工程建设的整个过程,测量工作的质量直接关系到工程建设的速度和



质量。作为一名水利工作者，必须掌握必要的测量科学知识和技能，才能担负起工程勘测、规划设计、施工及管理任务。

四、测量学的作用

由上可知，测量学的内容广泛，涉及面大，是现代高新技术互相渗透的结果，其研究和服务的对象、范围越来越广泛，重要性越来越显著。在国民经济建设、国防建设以及科学研究等领域发挥着重要的作用。

(1) 在国防建设中的作用。在军事上，首先由测绘工作提供地形信息，在战略的部署、战役的指挥中，除必需的军用地图（包括电子地图、数字地图）外，还需要进行目标的观测定位，以便进行打击。至于远程导弹、空间武器、人造地球卫星以及航天器的发射等，都要随时观测、校正飞行轨道，保证其精确入轨飞行。为了使飞行器到达预定目标，除了测算出发射点和目标点的精确坐标、方位、距离外，还必须掌握地球形状、大小、重力场的精确数据。航天器发射后，还要跟踪观测飞行轨道是否正确。总之，现代测绘技术是军事上决策的重要依据之一。

(2) 在水利工程建设中的作用。在水利各项工程的勘测、规划、设计、施工、竣工及运营后的监测、维护都需要进行测量工作。例如，在勘测设计各个阶段，需要勘测区的地形信息和地形图，供工程规划、选址和设计使用。在施工阶段，要进行施工测量，把设计好的建筑物、构筑物的空间位置测设于实地，以便据此进行施工；施工完成后，及时地进行竣工测量，编绘竣工图，为今后进一步发展提供依据。在建（构）筑物使用和工程的运营阶段，对于现代大型或重要的建筑物，还要继续进行变形观测和安全监测，为安全运营和生产提供资料。由此看出，测量工作在水利工程中应用十分广泛，它贯穿于工程建设的全过程，特别是大型和重要的水利建筑工程，测量工作更是非常重要的。

(3) 在科学研究中的作用。在科学实验方面，如地震预测预报、灾情监测、空间技术研究、海底资源探测、大坝变形监测、加速器和核电站运营的监测，等等，无一不需要与测绘工作紧密结合并由测量提供相关的空间信息。

此外，对建立各种地理信息系统（GIS）、数字城市、数字中国，都需要现代测绘科学提供基础数据信息。

工作任务二 地面点位的确定

测量的主要任务是测定（测图）和测设（放样），其实质是确定点位（地面点的空间位置）。由于测量工作都是在地球表面上进行的，所以在讨论如何确定地面点位之前先介绍关于地球形状和大小的知识。

一、地球的形状和大小

地球表面是一个极不规则的曲面，有海拔达 8844.43m 的珠穆朗玛峰和海拔为一 11022m 的位于太平洋西部最深的马里亚纳海沟，最高与最低两点相差近 20km。虽然



地球表面起伏如此之大，但与地球相比还是微不足道的。因此地球是一个南北极稍扁、赤道稍长，平均半径约为 6371km 的椭球。陆地面积约占 29%，而海洋面积约占 71%，所以可以将地球总的形状近似看作是一个被海水包围的球体。

从总体上来说，海水面是地球上最广大的天然水准面。设想把平均海水面扩展，延伸到大陆下面，形成一个包围整个地球的曲面，则称这个水准面为大地水准面，它所包围的形体称为大地体。由于大地水准面的形状和大地体的大小均接近地球自然表面的形状和大小，并且它的位置是比较稳定的，因此，选取大地水准面作为测量外业的基准面，而与其相垂直的铅垂线则是测量外业的基准线。

像平静的湖泊水面那样处于静止状态的水面，即表示一个水准面。水准面必然处处与重力方向垂直。在地球引力起作用的空间范围内，通过任何高度的点都有一个水准面，因此水准面有无穷个。水准面是受地球重力影响而形成的，是一个处处与重力方向垂直的连续曲面，并且是一个重力场的等位面，即处处与铅垂线垂直的连续封闭曲面。与水准面相切的平面称为水平面。

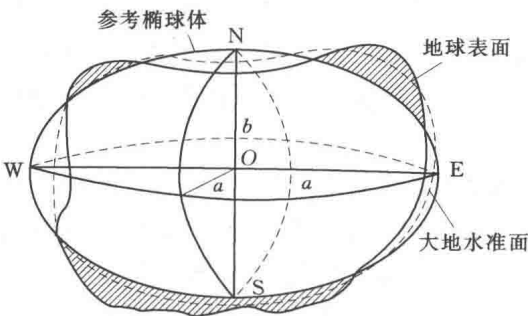


图 1-1 大地水准面和参考椭球体

如图 1-1 所示，大地水准面虽然比地球的自然表面要规则得多，且是测量成果整理和计算最适合的基准面，但由于地球内部质量分布不均匀，引起铅垂线的方向产生不规则的变化，致使大地水准面成为一个复杂的曲面，能用一个数学公式表示出来，无法在这个曲面上进行测量数据处理。为了使用方便，通常用一个非常接近于大地水准面并可用数学公式表示的几何形体来代替地球的形状作为测量计算工作的基准面，这就是参考椭球体。参考椭球体是测量计算工作的基准面。

参考椭球体是一个椭圆绕其短轴旋转而成的形体，故参考椭球体又称为旋转椭球体，旋转椭球体的大小及形状由长半径 a （或短半径 b ）和曲率 α 所决定。我国目前采用的旋转椭球体元素值是 IUGG 1975 年大会推荐的参数，其长半径 $a=6378140\text{m}$ ，曲率 $\alpha=(a-b)/a=1:298.257$ 。同时，选择陕西省泾阳县永乐镇某点为大地原点，并进行了大地定位，从而建立起全国统一的大地坐标系，这就是现在使用的“1980 年国家大地坐标系”（表 1-1）。

表 1-1 我国采用的椭球参数

椭球参数	年 份	长半径 (m)	曲率	大地坐标系
克拉索夫斯基椭球	1940	6378245	1/298.3	1954 年北京坐标系
IUGG 1975 年大会推荐的参数	1975	6378140	1/298.257	1980 年国家大地坐标系
IUGG 第 17 届大会推荐的参数	1984	6378137	1/298.25722	WGS-84 世界大地坐标系

由于地球的曲率很小，所以在一般测量工作中，可把地球看作一个圆球，其平均半径为 6371km。



二、地面点平面位置的确定

一个点的位置需用三个独立的量来确定。在测量工作中，这三个量通常用该点在参考椭球体上的铅垂投影位置和该点沿投影方向到大地水准面的距离来表示。其中，前者由两个量构成，称为坐标；后者由一个量构成，称为高程。也就是说，用地面点的坐标和高程来确定其位置。

1. 地理坐标

地理坐标指用“大地经度 L ”和“大地纬度 B ”来表示地面点在球面上的位置。如图 1-2 所示，N、S 分别为地球的北极和南极，NS 为地球的短轴，又称地轴。过地面上任意一点的铅垂线与地轴 NS 所组成的平面，称为该点的子午面。1968 年以前，将通过英国格林尼治天文台旧址的子午面称为首子午面（即起始子午面）。子午面与球面的交线，称为子午线或经线。地面上任意一点 P 的子午面与起始子午面之间的夹角，称为该点的大地经度，通常用符号 L 表示。大地经度自起始子午面起向东 $0^\circ \sim 180^\circ$ 称为东经，向西 $0^\circ \sim 180^\circ$ 称为西经。由于极移的影响和格林尼治天文台迁址，1968 年国际时间局改用经过国际协议原点（CIO）和原格林尼治天文台的经线延伸交于赤道圈的一点作为经度的零点。1977 年我国决定采用过该经度零点与极原点 1968.0（1968 年 1 月 1 日零时瞬间）的子午线作为起始子午线。我国 1954 年北京坐标系和 1980 年国家大地坐标系就是分别依据两个不同的椭球建立的大地坐标系。

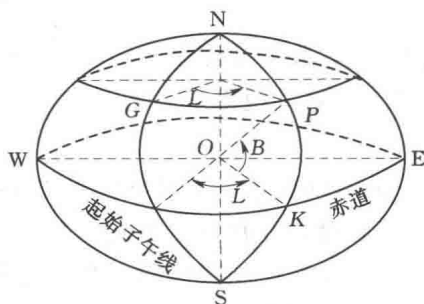


图 1-2 地理坐标

垂直于地轴并通过球心 O 的平面称为赤道面，赤道面与椭球面的交线称为赤道。垂直于地轴且平行于赤道的平面与球面的交线称为纬线。地面上任意一点 P 的铅垂面与赤道面之间的夹角，称为该点的大地纬度，通常用符号 B 表示。大地纬度自赤道起向北 $0^\circ \sim 90^\circ$ 称为北纬，向南 $0^\circ \sim 90^\circ$ 称为南纬。如北京市中心的地理坐标为东经 $116^\circ 24'$ ，北纬 $39^\circ 54'$ 。

2. 高斯平面直角坐标系

高斯投影是正形投影，具有中央子午线保持不变形的特点。

(1) 高斯投影的概念。当测区范围较大时，要建立平面坐标系，必须考虑地球曲率的影响，为了解决球面与平面这对矛盾，则必须采用地图投影的方法将球面上的大地坐标转换为平面直角坐标，目前我国采用的是高斯投影。从几何意义上看，高斯投影就是假设一个椭圆柱横套在地球椭球体外并与椭球面上的某一条子午线相切，这条相切的子午线称为中央子午线。假想在椭球体中心放置一个光源，通过光线将椭球面上一定范围内的物象映射到椭圆柱的内表面，然后将椭圆柱面沿一条母线剪开并展成平面，即获得投影后的平面图形，如图 1-3 所示。

高斯投影的经纬线图形有以下特点。

1) 投影后的中央子午线为直线，无长度变化。其余的经线投影为凹向中央子午线的

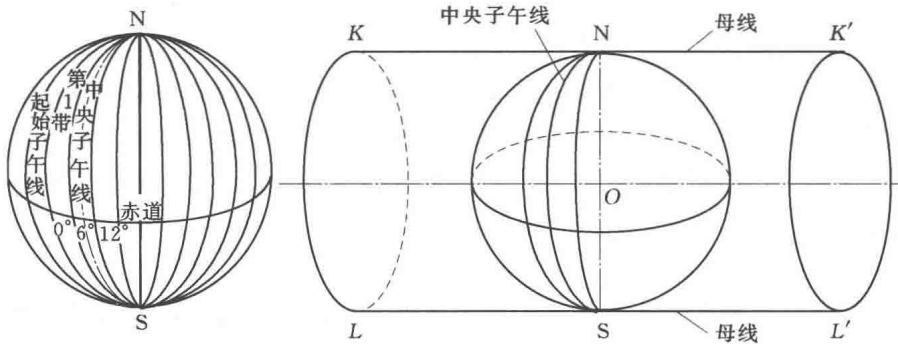


图 1-3 高斯投影与高斯平面直角坐标的投影

对称曲线，长度较球面上的相应经线略长。

2) 赤道的投影是一条直线，并与中央子午线正交。其余的纬线投影为凸向赤道的曲线。

3) 经纬线投影后仍然保持相互垂直的关系，说明投影后的角度无变形。

高斯投影没有角度变形，但有长度变形和面积变形，离中央子午线越远，变形就越大。为了对变形加以控制，缩小变形带来的影响，测量中采用限制投影区域的办法，即将投影区域限制在中央子午线两侧一定的范围，这就是所谓的分带投影。投影带一般分为 6°带和 3°带两种，如图 1-4 所示。

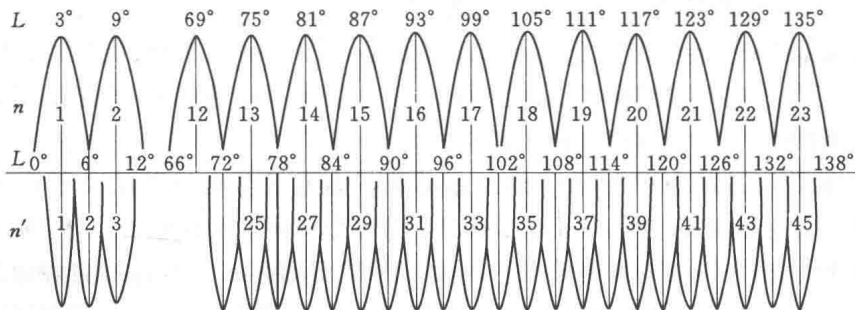


图 1-4 高斯投影分带

6°投影带是从英国格林尼治起始子午线开始，自西向东，每隔经差 6°分为一带，将地球分成 60 个带，其编号分别为 1、2、…、60。每带的中央子午线经度可用下式计算

$$L_6 = (6n - 3)^\circ \quad (1-1)$$

式中 n ——6°带的带号。

已知某点大地经度 L ，可按下式计算该点所属的带号

$$n = L/6 (\text{的整数商}) + 1 (\text{有余数时}) \quad (1-2)$$

3°投影带是在 6°投影带的基础上划分的。每隔 3°为一带，共 120 带，其中央子午线在奇数带时与 6°带中央子午线重合，每带的中央子午线经度可用下式计算

$$L_3 = 3^\circ n' \quad (1-3)$$

式中 n' ——3°带的带号。

我国领土幅员辽阔，位于东经 72°~136°，共包括了 13~23 共 11 个 6°投影带。24~



45 共 22 个 3° 投影带。

(2) 高斯平面直角坐标系的建立。通过高斯投影，将中央子午线的投影作为纵坐标轴，用 x 表示，向北为正。将赤道的投影作为横坐标轴，用 y 表示，向东为正。两轴的交点作为坐标原点，由此构成的平面直角坐标系称为高斯平面直角坐标系，如图 1-5 所示。

对应于每一个投影带，就有一个独立的高斯平面直角坐标系，区分各带坐标系则利用相应投影带的带号。地面点的平面位置，可用高斯平面直角坐标 x 、 y 来表示。由于我国位于北半球， x 坐标均为正值， y 坐标则有正有负，如图 1-5 (a) 所示。为了避免 y 坐标出现负值，将每带的坐标原点向西移 500km，如图 1-5 (b) 所示，规定在横坐标值前冠以投影带带号。假定 A、B 两点位于第 20 带，自然坐标为

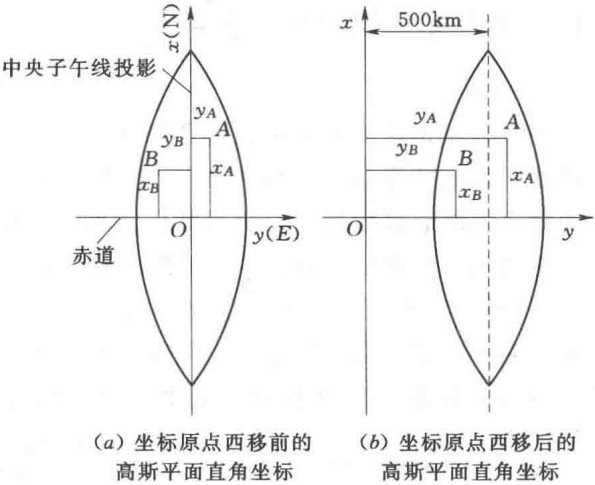


图 1-5 高斯平面直角坐标系

$$y_A = +136780\text{m}, y_B = -272440\text{m}$$

纵轴西移后的坐标为

$$y_A = 500000 + 136780 = 636780\text{m}, y_B = 500000 - 272440 = 227560\text{m}$$

冠以投影带带号后通用坐标为

$$y_A = 20636780\text{m}, y_B = 20227560\text{m}$$

(3) 独立平面直角坐标。用大地坐标表示大范围内地球表面的点位是很方便的，在小区域内进行测量时，用经纬度表示点的平面位置则十分不便。经过估算，在面积为 300km^2 的多边形范围内，可以忽略地球曲率影响而建立独立的平面直角坐标系，当测量精度要求较低时，这个范围还可以扩大数倍。把局部椭球面看作一个水平面，在这样的水平面上建立起平面直角坐标系，则点的平面位置就可用该点在平面直角坐标系中的直角坐标 (x, y) 来表示。

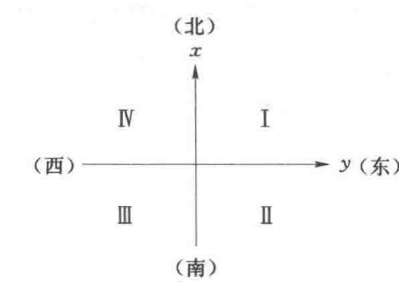


图 1-6 测量坐标系

响三角函数的应用。



三、地面点的高程

高程是确定地面点高低位置的基本要素，分为绝对高程和相对高程两种。

四、大地坐标系和地心坐标系

1. 大地坐标系

大地坐标系是大地测量中以参考椭球面为基准面建立起来的坐标系。地面点的位置用大地经度、大地纬度和大地高度表示。大地坐标系的确立包括选择一个椭球、对椭球进行定位和确定大地起算数据。一个形状、大小和定位、定向都已确定的地球椭球称为参考椭球。参考椭球一旦确定，则标志着大地坐标系已经建立。

(1) 1954年北京坐标系。1949年新中国成立后，很长一段时间采用1954年北京坐标系。它与苏联1942年建立的以普尔科夫天文台为原点的大地坐标系统相联系，相应的椭球为克拉索夫斯基椭球。到20世纪80年代初，我国已基本完成了天文大地测量，经计算表明，1954年北京坐标系统普遍低于我国的大地水准面，平均误差为29m左右。

(2) 1980年国家大地坐标系。1978年4月在西安召开全国天文大地网平差会议，确定重新定位，建立我国新的坐标系，确立了1980年国家大地坐标系。1980年国家大地坐标系采用地球椭球基本参数为1975年国际大地测量与地球物理学联合会(IUGG)第16届大会推荐的数据。该坐标系的大地原点设在我国中部的陕西省泾阳县永乐镇，位于西安市西北方向约60km，故也称1980年西安坐标系，又称西安大地原点。基准面采用1985国家高程基准。

2. 地心坐标系

以地球质心作为坐标原点的坐标系称为地心坐标系，即要求椭球体的中心与地心重合。人造地球卫星绕地球运行时，轨道平面时时通过地球的质心，同样对于远程武器和各种宇宙飞行器的跟踪观测也是以地球的质心作为坐标系的原点，参考坐标系已不能满足精确推算轨道与跟踪观测的要求。因此建立精确的地心坐标系对于卫星大地测量、全球性导航和地球动态研究等都具有重要意义。

WGS-84坐标系是一种国际上采用的地心坐标系。坐标原点为地球质心，其地心空间直角坐标系的Z轴指向国际时间局(BIH)1984.0定义的协议地极(CTP)方向，X轴指向BIH1984.0的协议子午面和CTP赤道的交点，Y轴与Z轴、X轴垂直构成右手坐标系，称为1984年世界大地坐标系。这是一个国际协议地球参考系统(ITRS)，是目前国际上统一采用的大地坐标系。

五、用水平面代替水准面的限度

在实际测量工作中，在测区面积不太大的情况下，为简化一些复杂的投影计算，可用水平面代替水准面。用水平面代替水准面时应使投影后产生的误差不超过一定的限度，则在这个小范围内用水平面代替水准面是合理的。以下讨论用水平面代替水准面对距离和高程的影响，以便明确可以代替的范围。



1. 对水平距离的影响

如图 1-7 所示, 水准面 P 与水平面 P' 在 a 点相切, ab 为 a 、 b 两点在水准面上的一段圆弧, 长度为 D , 所对的圆心角为 θ , 地球半径为 R , a 、 b 两点在水平面上的距离为 D' 。若用水平面代替水准面, 即以水平距离 D' 代替 D , 则在距离上所产生的误差为

$$\Delta D = D' - D$$

其中 $D' = R \tan \theta, D = R \theta$

则 $\Delta D = R(\tan \theta - \theta)$

因 θ 值一般很小, 将 $\tan \theta$ 按级数展开, 并略去高次项得

$$\Delta D = R(\theta + \frac{\theta^3}{3} + \dots - \theta) \approx \frac{1}{3} R \theta^3$$

将 $\theta = D/R$ 代入上式得

$$\Delta D = \frac{D^3}{3R^2} \quad \text{或} \quad \frac{\Delta D}{D} = \frac{D^2}{3R^2} \tag{1-4}$$

因地球半径 $R = 6371\text{km}$, D 以不同的值代入上式, 可计算出水平面代替水准面的距离误差和相对误差, 结果见表 1-2。当距离为 10km 时, 用水平面代替水准面所产生的距离误差为 0.82cm , 相对误差为 $1 : 1220000$, 小于目前精密距离测量的容许值。因此, 在半径为 10km 的范围内进行距离测量工作时, 用水平面代替水准面所产生的距离误差可以忽略不计。

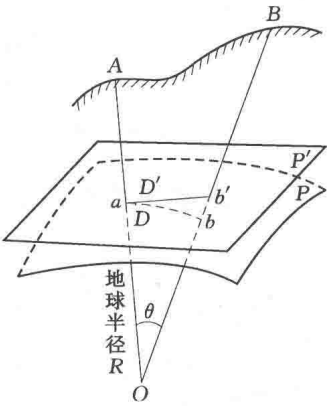


图 1-7 水平面代替水准面

表 1-2 水平面代替水准面的距离、距离误差和相对误差

距离 (km)	距离误差 (cm)	相对误差	距离 (km)	距离误差 (cm)	相对误差
1	0.00	—	10	0.82	1 : 1220000
5	0.10	1 : 5000000	15	2.77	1 : 540000

2. 对高程的影响

由图 1-7 可知, a 、 b 两点在同一水准面上, 高程相等, 高差应为零。当 b 点投影到过 a 点的水平面上得到 b' 点时, $bb' = \Delta h$, 即为水平面代替水准面对高程产生的误差, 则

$$(R + \Delta h)^2 = R^2 + D'^2$$

上式中, 用 D 代替 D' , Δh 与 $2R$ 相比可忽略不计, 故上式可写成

$$\Delta h = \frac{D^2}{2R} \tag{1-5}$$

由上式可知, Δh 的大小与距离的平方成正比。当 $D = 1\text{km}$ 时, $\Delta h = 7.8\text{cm}$, 若 $D = 100\text{m}$, $\Delta h = 0.78\text{mm}$ 。因此在进行高程测量中, 即使在很短的距离内也必须考虑地球曲率的影响。

结论: 在面积为 100km^2 范围内, 不论进行水平距离还是水平角测量, 都可以不考虑地球曲率的影响, 但对高程测量的影响不能忽略。



工作任务三 测量工作的原则

为了保证测量成果的质量,实测时必须遵循一定的原则和规程、规范。

一、测量工作的程序和原则

测量的主要工作是测定和测设。具体地说,测量工作是通过水平角测量、水平距离测量以及高程测量来确定点的位置。这些基本数据的测量工作量很大,如果不注意工作的程

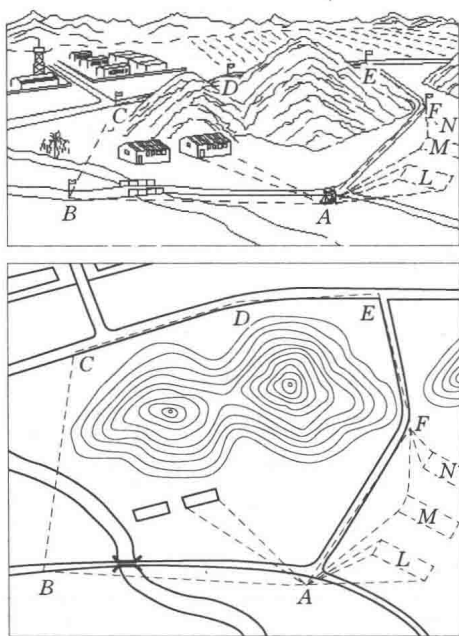


图 1-8 控制测量与碎部测量

序和方法,将会使测量工作加大甚至无法得到合格的成果。因此,有必要研究测量的程序和原则。

(1) 测量的基本程序和原则。先控制后碎部,从整体到局部,由高级到低级。测量工作的目的之一是测绘地形图,地形图是通过测量一系列碎部点(地形点)的平面位置和高程,然后按一定的比例,应用地形图符号和注记缩绘而成。测量工作不能一开始就测量碎部点,而是先在测区内统一选择一些起控制作用的点,将它们的平面位置和高程精确地测量计算出来,这些点被称为控制点,由控制点构成的几何图形称为控制网,然后再根据这些控制点分别测量各自周围的碎部点,进而绘制成图,如图 1-8 所示的多边形 ABC-DEF 就是该测区的控制网。

(2) 测量的又一基本原则——边工作边检核。测量工作贯穿于水利工程的各个阶段,测量结果的精度直接影响水利工程的布局、成本、质量和安全,

尤其是在施工放样中,如果出现测量错误,就会造成难以挽回的损失。测量是一个多层次、多工序的复杂工作,所以测量中需要有耐心、细致的工作作风之外,还要注意在各个环节都做到边工作边检核,以便及时发现并改正错误,确保工程质量,提高工作效率。

二、测量的基本工作

为了保证全国各地区测绘的地形图能有统一的坐标系,并能减少控制测量误差积累,国家测绘地理信息局在全国范围内建立了能覆盖全国的平面控制网和高程控制网。在测绘地形图时,首先应在测区范围内布设测图控制网及测图用的图根控制点。这些控制网应与国家控制网联测,使测区控制网与国家控制网的坐标系统一致。图根控制点还应便于安置仪器进行测图。如图 1-8 所示, A、B、…、F 为图根控制点, A 点只能测山前的地形图,山后要用 C、D、E 等点测量。

地物、地貌特征点也称为碎部点,地形图碎部测量中大多采用极坐标法。如图 1-8