

高等院校工程管理类系列教材

(第二版)

工程测量

岳建平 主编



科学出版社

高等院校工程管理类系列教材

工程测量

(第二版)

岳建平 主编

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书从高程测量、角度测量和距离测量三个基本要素出发,详细介绍了相应的概念、仪器设备的使用、测量的实施以及数据的处理,在此基础上,介绍了地形图的测绘方法及使用、典型工程的施工测量方法及变形监测技术。此外,为适合工程管理的需要,本书补充了测绘项目管理的有关内容。

本书可作为高等院校工程管理、农林、土木工程、环境工程等相关专业的教材,也可作为工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

工程测量 / 岳建平主编. —2 版. —北京: 科学出版社, 2016
(高等院校工程管理类系列教材)

ISBN 978-7-03-048693-6

I. ①工… II. ①岳… III. ①工程测量-高等学校-教材 IV. ①TB22

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 129289 号

责任编辑: 田悦红 赵 茜 / 责任校对: 刘玉靖
责任印制: 吕春珉 / 封面设计: 东方人华平面设计部

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

新科印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2006 年 9 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16
2016 年 6 月第 二 版 印张: 22 3/4
2016 年 6 月第六次印刷 字数: 538 000

定价: 45.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换〈新科〉)
销售部电话 010-62136230 编辑部电话 010-62132460

版权所有, 侵权必究

举报电话: 010-64030229; 010-64034315; 13501151303

第二版前言

近年来，工程测量技术发生了显著的进步，许多传统的测绘技术被淘汰，取而代之的是现代数字化、自动化的生产技术。为适应当前形势的发展和实际工作的需要，本书在原有理论的基础上，对内容进行了较大的修订，主要修订的内容如下：

1. 对我国的 CGCS 2000 国家大地测量坐标系进行了补充介绍；
2. 对原有的光学经纬仪、光学水准仪的有关内容进行了精简，保留了这些仪器的工作原理，对目前生产中广泛使用的电子水准仪、全站仪等进行全面介绍，力求教学内容与生产实际相适应；
3. 对传统的白纸测图技术进行了精简，详细介绍了数字化测图的基本原理、工艺流程，以及作业方法；
4. 将原来的 GPS 测量有关内容，进一步拓展为 GNSS 测量技术。

本书编写分工如下：岳建平（河海大学）撰写第一章、第十二章、第十三章、第十四章、第十五章和附录，负责全书的组织和统稿；张序（苏州科技学院）撰写第二章、第三章；曹爽（南京信息工程大学）撰写第四章、第五章；郑加柱（南京林业大学）撰写第六章、第七章；石杏喜（南京理工大学）撰写第八章；龚德书（南通大学）撰写第九章、第十章；梅红（河海大学）撰写第十一章。

本书的部分图表和内容参考了相关文献，在此向相关作者致谢。

由于编者水平有限，书中的不足和疏漏在所难免，敬请广大读者批评指正。

编者

2015年9月

第一版前言

本书按照高等学校工程管理类“工程测量”课程教学大纲的要求，由多所高等院校从事该课程教学的教师共同编写而成。

“工程测量”是各工科类专业的技术基础课。本书着重阐述工程测量的基本理论和基本知识，详细介绍了工程测量中涉及的技术和方法，注重对学生实际工作能力的培养，反映了当今测绘技术的进展情况，并增添了全站仪、GPS和数字化测图等新的理论和技术，对部分过时的内容进行了删减。

本书适用于工程管理、城市规划、园林、土木工程、水利工程、环境工程、交通工程、建筑学、GIS和遥感等专业的教学，也可供相关专业的工程技术人员参考。

本书以基础理论和基本概念为重点，力求理论与实际相结合，传统技术与现代技术相对照，对重点和难点进行详细阐述分析，各部分内容由浅入深，循序渐进。

本书编写分工如下：岳建平（河海大学）、蔡睿（四川外语学院重庆南方翻译学院）撰写第一章、第十二章、第十三章、第十四章、第十五章和附录，负责全书的组织和统稿；张序（苏州科技学院）撰写第二章、第三章；赵显富（南京信息工程大学）撰写第四章、第五章；郑加柱（南京林业大学）撰写第六章、第七章；石杏喜（南京理工大学）撰写第八章；龚德书（南通大学）撰写第九章、第十章；梅红（河海大学）撰写第十一章。

本书的部分图表和内容参考了相关文献，在此向相关作者致谢。

由于编者水平有限，书中的不足和疏漏在所难免，敬请广大读者批评指正。

编 者

2009年7月

目 录

第二版前言

第一版前言

第一章 绪论	1
第一节 概述	1
第二节 地面上点位的确定	4
第三节 用水平面代替水准面的限度	8
第四节 测绘工作的基本原则	10
第五节 工程测量的现代进展	11
思考与练习	15
第二章 水准仪及水准测量	16
第一节 水准测量基本原理	16
第二节 水准仪的基本结构及使用	17
第三节 水准测量的一般方法及计算	21
第四节 水准测量误差及仪器检校	27
第五节 精密水准仪与自动安平水准仪	32
第六节 电子水准仪测量	36
思考与练习	43
第三章 经纬仪及其使用	44
第一节 角度测量原理	44
第二节 经纬仪的基本结构及使用	45
第三节 水平角测量	50
第四节 竖直角测量	52
第五节 角度测量误差及仪器检校	56
第六节 电子经纬仪介绍	62
思考与练习	69
第四章 距离测量与直线定向	71
第一节 直线定向	71
第二节 距离测量	77
第三节 视距测量	85
第四节 光电测距原理及其应用	88
第五节 全站仪及其使用	93
思考与练习	97

第五章 测量误差理论基础	99
第一节 测量误差概述.....	99
第二节 随机误差的特性.....	100
第三节 衡量精度的标准.....	102
第四节 误差传播定律及其应用.....	105
第五节 测量误差分析与处理.....	115
思考与练习.....	120
第六章 平面控制测量	121
第一节 控制网概述.....	121
第二节 导线测量原理.....	122
第三节 交会定点.....	129
第四节 CORS 测量.....	134
思考与练习.....	137
第七章 高程控制测量	139
第一节 高程控制测量概述.....	139
第二节 三、四等水准测量.....	140
第三节 三角高程测量.....	142
第四节 跨河水准测量.....	147
思考与练习.....	149
第八章 全球定位系统 (GPS) 原理	150
第一节 全球定位系统概述.....	150
第二节 GPS 卫星定位基本原理.....	156
第三节 GPS 测量的实施.....	163
第四节 GPS 测量的数据处理.....	166
第五节 动态 GPS 测量.....	169
思考与练习.....	170
第九章 地形图测绘	171
第一节 地形图的基本知识.....	171
第二节 测图前的准备工作.....	199
第三节 测量和选择碎部点的基本方法.....	201
第四节 碎部测量.....	205
第五节 地形图的拼接、整饬、检查和验收.....	210
思考与练习.....	212
第十章 地形图的应用	214
第一节 地形图识读、精度与分析.....	214

第二节	地形图应用的基本内容	217
第三节	地形图在工程设计中的应用	227
第四节	平整场地中土石方量的计算	229
第五节	数字地形图的应用	235
	思考与练习	235
第十一章	摄影测量与遥感的基本知识	238
第一节	摄影测量与遥感概述	238
第二节	摄影测量的基本原理与方法	241
第三节	遥感的基本原理与方法	251
第四节	遥感技术的应用	265
第五节	无人机低空测绘技术	269
	思考与练习	274
第十二章	施工放样基本方法	275
第一节	工程控制网的布设	275
第二节	距离、水平角和高程的放样	280
第三节	平面位置放样	283
	思考与练习	285
第十三章	建设工程施工测量	286
第一节	工业民用建筑施工测量	286
第二节	水利工程施工测量	290
第三节	线路工程施工测量	293
第四节	桥梁工程施工测量	298
第五节	港口工程施工测量	300
第六节	地下工程施工测量	305
第七节	竣工图测绘	309
	思考与练习	312
第十四章	建筑物变形监测	313
第一节	建筑物变形监测概述	313
第二节	变形监测系统设计	316
第三节	垂直位移观测	319
第四节	水平位移监测	322
第五节	挠度和裂缝观测	324
第六节	建筑物倾斜观测	325
第七节	变形监测数据的整理和分析	328
	思考与练习	330

第十五章 测绘工程项目的管理	331
第一节 工程项目管理概述	331
第二节 测绘项目的管理实施	334
第三节 测绘项目的招投标	337
第四节 测绘项目管理的监理制度	339
第五节 测绘项目的网络化管理	344
思考与练习	347
参考文献	348
附录	350
附录 1 测量常用计量单位与换算	350
附录 2 测量实验和实习要求	350

第一章 绪 论

第一节 概 述

一、测绘学介绍

(一) 定义

测绘学是研究地球的形状和大小，确定地球表面（包括空中、地表、地下和海洋）物体的空间位置，以及对这些空间位置信息进行处理、储存、管理的科学。它包括测量和制图两项主要内容。

测绘学按照研究对象及采用技术的不同，又可分为下列学科。

(1) 大地测量学。大地测量学是研究和测定地球的形状、大小和地球重力场，以及测定地面点几何位置的学科。大地测量工作为大规模测制地形图提供地面的水平位置控制网和高程控制网，为用重力勘探地下矿藏提供重力控制点，同时也为发射人造地球卫星、导弹和各种航天器提供地面站的精确坐标和地球重力场资料。

(2) 摄影测量学。摄影测量学是研究利用摄影或遥感的手段获取被测物体的信息（影像的或数字式的），并对其进行分析和处理，以确定被测物体的形状、大小和位置，并判断其性质的一门学科。摄影测量学包括航空摄影测量、地面立体摄影测量等。摄影测量主要用于测制地形图，但它的原理和基本技术也适用于非地形测量。

(3) 工程测量学。工程测量学是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。

(4) 海洋测量学。海洋测量学是以海洋水体和海底为对象进行测量和海图编制工作的一门学科。海洋测量学主要包括海道测量、海洋大地测量、海底地形测量、海洋专题测量，以及航海图、海底地形图、各种海洋专题图和海洋图集等的编制。

(5) 地图制图学。地图制图学是研究地图及其编制和应用的一门学科。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。

(二) 应用

测绘学的应用范围很广。在城乡建设规划、国土资源的合理利用、农林牧渔业的发展、环境保护以及地籍管理等工作中，必须进行土地测量，并测绘各种类型、各种比例尺的地图，以供规划和管理使用。在地质勘探、矿产开发、水利、交通等国民经济建设中，必须进行控制测量、矿山测量和线路测量，并测绘大比例尺地图，以供地质普查和各种建筑物设计施工用。在国防建设中，除了为军事行动提供军用地图外，还要为保证火炮射击的迅速定位和导弹等武器发射的准确性，提供精确的地心坐标和精确的地球重力场数据。在研究地球运动状态方面，测绘学提供大地构造运动和地球动力学的几何信息，结合地球物理

的研究成果，解决地球内部的运动机制问题。

二、工程测量学介绍

工程测量学是研究地球空间（地面、地下、水下、空中）中具体几何实体的测量描绘和抽象几何实体的测设实现的理论方法和技术的一门应用性学科。

（一）发展历史

工程测量学是一门历史悠久的学科，是从人类生产实践中逐渐发展起来的。在古代，它与测量学并没有严格的界限。直到近代，随着工程建设的大规模发展，才逐渐形成了工程测量学（engineering surveying 或 engineering geodesy）。

在我国古代，为了战胜洪水、兴修水利，就曾进行过工程测量工作。例如，中国汉代司马迁的《史记》就有关于夏禹治水时（公元前 21 世纪）的勘测情况的记载。1973 年从长沙马王堆汉墓出土的地图包括地形图、驻军图和城邑图三种，该地图不仅所表示的内容相当丰富，绘制技术也非常熟练，在颜色使用、符号设计、内容分类和简化等方面都达到了很高水平，是目前世界上发现的最早的地图。在国外，公元前 27 世纪建造的埃及大金字塔，其形状与方向都很准确，这说明当时就已经有了放样的工具和方法。公元前 14 世纪，在幼发拉底河与尼罗河流域曾进行过土地边界的划分测量。

20 世纪初，由于西方的第一、第二次技术革命和工程建设规模的不断扩大，工程测量学逐渐受到人们的重视，并发展成为测绘学的一个重要分支。以核子、电子和空间技术为标志的第三次技术革命，使工程测量学获得了迅速的发展。20 世纪 50 年代，世界各国在建设大型水工建筑物、长隧道、城市地铁中，对工程测量提出了一系列要求，为了确保竣工后的工程质量，人们致力于定线放样的方法及其精度分析的研究，并形成了施工测量的内容；20 世纪 60 年代，空间技术的发展和导弹发射场的建设促使工程测量进一步发展；自 20 世纪 70 年代以来，高能物理、天体物理、人造卫星、宇宙飞行、远程武器发射等，均需要建设各种巨型实验室，从测量精度和仪器自动化方面都对工程测量提出了更高的要求，要求必须采用特制的仪器设备和拟定专门的测量方法，这就是高精度工程测量。

20 世纪末，人类科学技术不断向着宏观宇宙和微观粒子世界延伸，测量对象不仅限于地面，而且深入地下、水域、空间和宇宙，如核电站、摩天大楼、海底隧道、跨海大桥、大型正负电子对撞机等。由于仪器的进步和测量精度的提高，工程测量的领域日益扩大，除了传统的工程建设三阶段的测量工作外，在地震观测，海底探测，巨型机器、车床、设备的荷载试验，高大建筑物（电视发射塔、冷却塔）变形观测，文物保护，甚至在医学上和罪证调查中，都应用了最新的精密工程测量仪器和方法。

从工程测量学的发展历史可以看出，它的发展经历了一条从简单到复杂、从手工操作到测量自动化、从常规测量到精密测量的发展道路；它的发展始终与当时的生产力水平相同步，并且能够满足大型特种精密工程中对测量所提出的越来越高的需求。

（二）研究内容

工程测量的主要研究内容包括：提供模拟或数字的地形资料；进行测量及其有关信息的采集和处理；建筑物的施工放样；大型精密设备的安装和调试测量；工业生产过程的质量检测和控制；各类工程建设物、矿山和地质病害区域的变形监测、机理解释和预报；工

程测量专用仪器的研制与应用；与研究对象有关的信息系统的建立和应用等。

1. 地形图测绘

在工程规划设计中所用的地形图一般比例尺较小，根据工程的规模可直接使用 1：100 000~1：10 000 的国家地形图系列。对于一些大型工程，往往需要专门测绘区域性或带状性地形图，一般采用航空摄影测量，用模拟法、解析法或全数字化法进行测绘。而对于 1：5000~1：2000 的局部性或带状地形图，则采用地面测量方法用模拟的平板仪白纸成图或数字化计算机辅助成图法进行测绘。在施工建设和运营管理阶段，往往需要测绘 1：1000、1：500 乃至更大比例尺的地形图、竣工图或专题图，一是为了满足施工设计和管理的需要，二是为了满足运营管理需要。竣工图或专题图应与地籍图的测绘相结合。各种大比例尺图是工程信息系统或专题信息系统的基础地理信息。

2. 控制网布设

为工程建筑物的施工放样、验收及其他测量工作建立平面控制网和高程控制网。首级平面控制网常用高精度测角网、边角网或电磁波导线等形式布设，再以插网、插点或导线的形式加密。随着全球导航卫星系统（GNSS）技术的推广和应用，在许多大型工程中已开始采用 GNSS 建立平面施工控制网，并用动态 GNSS 技术进行施工放样工作，这对提高施工测量的效率是十分有益的。首级高程控制网一般为高精度的水准网，然后以较低等级的附合水准路线或结点水准网加密，当地形起伏较大时，则用电磁波三角高程测量或解析三角高程测量代替相应等级的水准测量。

3. 建筑物施工放样

将设计的抽象的几何实体放样（或称测设）到实地上去，成为具体几何实体所采用的测量方法和技术称为施工放样，机器和设备的安装也是一种放样。放样与测量的原理相同，使用的仪器和方法也相同，只是目的不一样。一般采用方向交会法、距离交会法、方向距离交会法、极坐标法、坐标法、偏角法、偏距法、投点法等进行放样。除常规的光学、电子经纬仪、水准仪、全站仪外，还有一些专用仪器。目前，GNSS 技术也可用于工程的施工放样、施工机械导航定位和建筑物构件的安装定位。

4. 建筑物竣工测量

工程建设项目竣工验收时所进行的测量工作称为竣工测量，其主要目的是根据控制网点测定已有建筑物的实际位置以及部分建筑物的几何形体，以检验施工质量，为工程的验收、决算、维护等工作提供依据。竣工测量的成果主要包括竣工总平面图、分类图、辅助图、断面图以及道路曲线元素、细部点坐标、高程明细表等。它们综合反映了工程竣工后主体工程及其附属工程的现状，是今后工程运营管理和维护所必需的基础技术资料，也是工程改建、扩建设计的依据。

5. 建筑物变形监测

工程建筑物及与工程有关的变形的监测、分析和预报是工程测量学的重要研究内容。变形分析和预报除了需要对变形观测数据进行处理外，还涉及工程、地质、水文、应用数

学、系统论和控制论等学科,属于多学科的交叉领域。变形监测技术几乎包括了全部的工程测量技术,除常规的仪器和方法外,该技术还大量地使用各种传感器和专用仪器。

第二节 地面上点位的确定

一、地球的形状和大小

测量工作是在地球表面上进行的,要确定地面上各点之间的相互关系,将地球表面测绘成地形图,就需要了解地球的形状和大小。

地球的自然表面高低起伏,是一个复杂的不规则曲面。但是,地表起伏相对于庞大的地球来说是微不足道的。由于地球表面大部分是海洋,因此海水所包围的形体基本表示了地球的形状。

(一) 大地水准面

假想有一个静止的海水面,向陆地延伸形成一个封闭的曲面,这个曲面称为水准面。水准面上每一个点的铅垂线均与该点的重力方向重合。由于海水面受潮汐的影响而不断发生变化,因此水准面有无数个。为此,人们在海滨设立验潮站,通过长期观测,求出海水面的平均高度,通过平均高度的这个水准面称为大地水准面。大地水准面所包围的形体称为大地体,它代表地球的一般形状。

(二) 参考椭球面

由于地球表面起伏不平和地球内部质量分布不均匀,地面上各个点的铅垂线方向产生不规则的变化,大地水准面仍然是一个复杂的不规则曲面,不是一个简单的数学曲面,不能用一个数学模型来表达,因此,也就无法在这样的面上直接进行测量和数据处理。于是,人们进一步设想用一个合适的旋转椭球面来逼近大地水准面,旋转椭球面所包含的形体称为旋转椭球体,同大地水准面最为接近的椭球面称为平均地球椭球面。旋转椭球体是由椭圆面 $NWSE$ 绕其短轴 NS 旋转而成的形体(图 1-1),其形状和大小取决于长半轴 a 、短半轴 b 和扁率 $\alpha=(a-b)/a$ 。

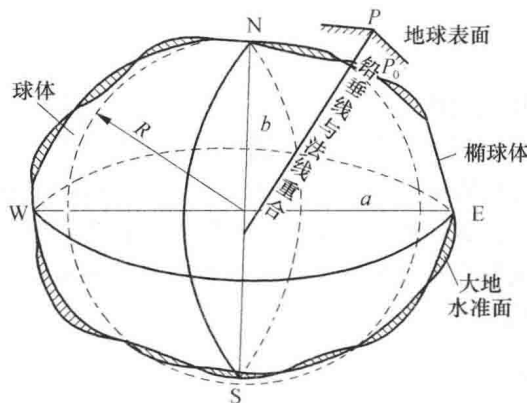


图 1-1 大地水准面和参考椭球面

为了将观测成果准确地投影到椭球面,各国都根据本国的实际情况,采用与大地体非常接近的自己国家的椭球体,并选择地面上的一点或多点使椭球定位。如图 1-1 所示,在地面上选一点 P , 令 P 点的铅垂线和椭球面上相应点 P_0 的法线重合,并使 P_0 点的椭球面与大地水准面相切。这里的 P 点称为大地原点,旋转后的椭球面称为参考椭球面,其包围的形体称为参考椭球体(表 1-1)。

大地水准面和铅垂线是测量工作所依据的基准面和基准线,参考椭球面及其法线是测量计算所依据的基准面和基准线。

表 1-1 地球椭球参数

椭球名称	长半轴 a/m	短半轴 b/m	扁率 α	推算年代和国家
白塞尔	6 377 397	6 356 564	1 : 299.2	1841 年, 德国
克拉克	6 378 249	6 356 515	1 : 293.5	1880 年, 英国
德福特	6 378 388	6 356 912	1 : 297.0	1909 年, 美国
克拉索夫斯基	6 378 245	6 356 863	1 : 298.3	1940 年, 苏联
IUGG-75	6 378 140	6 356 755.3	1 : 298.257	1979 年, 国际大地测量与地球物理联合会
WGS-84	6 378 137	6 356 752	1 : 298.257 223 563	1984 年, 美国

二、地面点位置的确定

测绘工作的主要任务之一是确定地面点的空间位置,其表示方法为坐标和高程,而地面点的空间位置与一定的坐标系统相对应。在测绘工作中,常用的坐标系统有大地坐标系、高斯平面直角坐标系、高程系统等。

(一) 大地坐标系

大地坐标用大地经度和大地纬度表示,它的基准是参考椭球面及其法线。如图 1-2 所示,地心空间直角坐标系 (X, Y, Z) 的 Z 轴与地球平均自转轴重合,与 Z 轴垂直的赤道面构成 XY 平面; XZ 平面是包含平均自转轴和格林尼治天文台的平面; Y 轴的指向使该坐标系成为右手坐标系。椭球的短轴与地心空间直角坐标系的 Z 轴重合,起始子午面和赤道面分别与该坐标系的 XZ 平面和 XY 平面重合。 P 点沿椭球面法线到椭球面上的投影是 Q , $PQ=H$, 称为 P 点的大地高程,过 P 点的大地子午面和首子午面所夹的两面角称为 P 点的大地经度 L ; 过 P 点的法线与赤道面的夹角称为 P 点的大地纬度 B 。 P 点的大地坐标 (L, B, H) 和地心空间直角坐标 (X, Y, Z) 之间存在着严密的数字关系,可以互相换算。

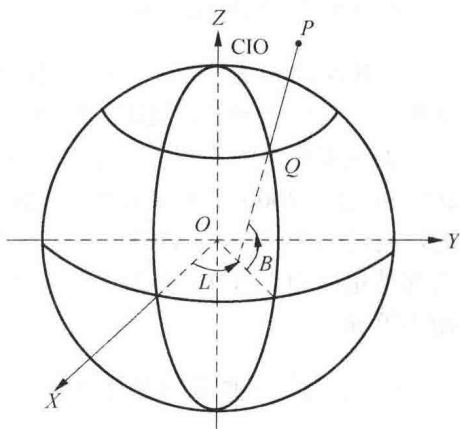


图 1-2 大地坐标系

CIO-地球平均自转轴

目前,我国常用的大地坐标系有如下三种。

1. 1954 年北京坐标系

我国在建国初期采用克拉索夫斯基椭球建立的坐标系。由于该坐标系的大地原点在苏

联,于是便利用我国东北边境的三个大地点与苏联大地网联测后的坐标作为我国天文大地网的起算数据,通过天文大地网坐标计算,推算出北京一点的坐标,故将其命名为 1954 年北京坐标系。该坐标系在我国的经济建设和国防建设中发挥了重要作用,但也存在点位精度不高等许多问题。

2. 1980 年国家大地坐标系

为了克服 1954 年北京坐标系存在的问题,我国于 20 世纪 70 年代末,对原大地网重新进行了平差。该坐标系采用 IUGG-75 地球椭球,将大地原点选在陕西省永乐镇,椭球面与我国境内的大地水准面密合最佳。平差后该坐标系的精度明显提高。

3. WGS-84 坐标系

WGS (world geodetic system, 世界大地坐标系)是美国国防局为进行 GPS 导航定位于 1984 年建立的地心坐标系,1985 年投入使用。WGS-84 坐标系的几何意义是:坐标系的原点位于地球质心, Z 轴指向 BIH1984.0 定义的协议地球极 (CTP) 方向, X 轴指向 BIH1984.0 的 0° 子午面和 CTP 赤道的交点, Y 轴通过右手规则确定 (图 1-3)。WGS-84 地心坐标系可以与 1954 年北京坐标系或 1980 年西安坐标系等参心坐标系相互转换。

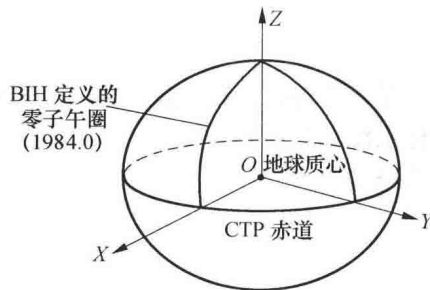


图 1-3 WGS-84 坐标系

4. CGCS 2000 坐标系

CGCS 2000 是 2000 年国家大地坐标系 (China geodetic coordinate system 2000) 的英文缩写,它是由国务院批准,自 2008 年 7 月 1 日起启用的新的国家大地坐标系。2000 年国家大地坐标系的原点为包括海洋和大气的整个地球的质量中心,是地心坐标系。CGCS 2000 是通过 2000 年国家 GPS 大地控制网的 ITRF97、2000.0 历元下坐标 (和速度) 实现的,精度约为 3cm。CGCS 2000 和 WGS-84 坐标系在坐标原点、尺度、定向及定向的定义都是相同的。与参考椭球非常相近,在四个椭球常数 a 、 α 、 GM 、 ω 中,唯有扁率 α 有微小差异。

(二) 高斯平面直角坐标系

由于用大地经度和纬度表示的大地坐标是一种椭球面上的坐标,不能直接将其应用于测绘,因此,需要将它们按一定的数学规律转换为平面直角坐标。

根据高斯-克吕格投影所建立的平面坐标系称为高斯平面直角坐标系。它是大地测量、城市测量、普通测量、各种工程测量和地图制图中广泛采用的一种平面坐标系。

高斯-克吕格尔投影属于横轴切圆柱正形投影。可以设想将截面为椭圆的一个圆柱体面套在地球椭球的外面(图 1-4),圆柱的中心轴 EE_1 在赤道面内,圆柱面同椭球面相切在中央子午线上。按正形条件将中央子午线东、西各一定经度范围内的地区投影到圆柱面上,然后将该圆柱面展开成一平面,就得出中央子午线两侧的一部分地区在平面上的投影(图 1-5)。地球椭球赤道的投影也是直线,且与中央子午线正交,以前者为横轴,即 y 轴,东向为正;后者为纵轴,即 x 轴,北向为正;两者的交点 O 为原点,这就形成了高斯平面直角坐标系。

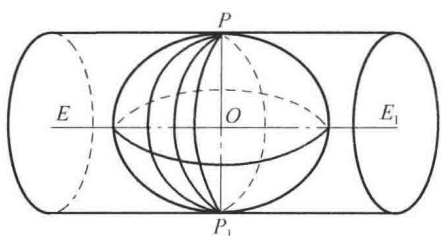


图 1-4 高斯-克吕格尔投影

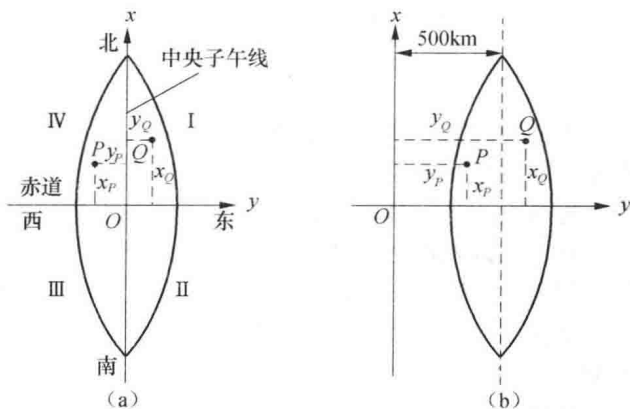


图 1-5 高斯-克吕格尔投影展开

高斯-克吕格尔投影是将一个不可平展的地球椭球面变换成平面。这种变换不可避免地会产生投影变形,其中长度变形随着离中央子午线的距离的二次方而增大。投影变形过大,给应用和计算都会带来许多不便。为了限制这种投影变形,克吕格尔提出将地球椭球面按子午线划分成适当个数的投影带,带宽一般分为 6° 、 3° 和 1.5° 三种。每一个投影带采用各自独立的高斯平面坐标系(图 1-6),并规定 y 坐标加上 500km , 以避免出现负值。为了表示任一点所在的投影带,又规定在 y 坐标值前加上两位数,以表示投影带号。 x 坐标值无论在哪一个投影带内都是由赤道起算的实际值。

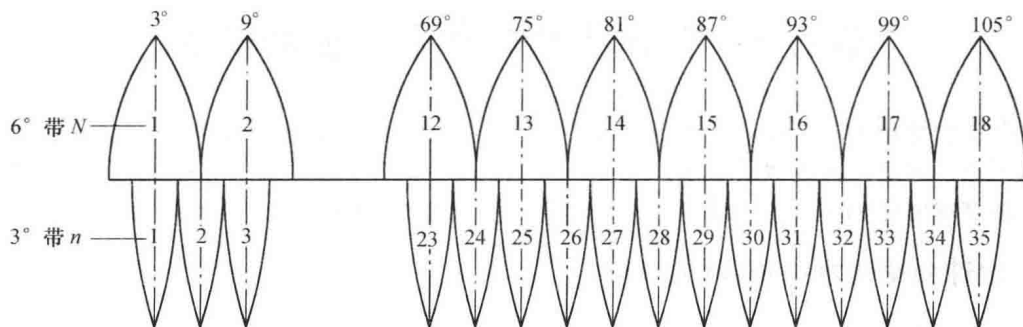


图 1-6 高斯-克吕格尔投影分带

对中央子午线位置的选取办法是:对于 6° 带,取经度 3° 为第一带的中央子午线,以下各带便可依此类推; 3° 带也取经度 3° 为第一带的中央子午线,这样第二带的中央子午线便是经度 6° , 以下各带可依此类推。这种规定可使整个地球 3° 带的中央子午线有一半与 6° 带的中央子午线重合,其优点是对两种分带之间进行点的坐标相互换算较为方便,

即全球内有一半区域的点的坐标不需要进行换算。

地球表面上一点所在分带的中央子午线的经度值可计算如下:

6°分带:

$$L_{6^{\circ}} = 6N + 3 \quad (1-1)$$

3°分带:

$$L_{3^{\circ}} = 3n \quad (1-2)$$

式中, N ——6°投影带带号;

n ——6°投影带带号。

(三) 高程系统

地面点到某一高程基准面的垂直距离称为地面点的高程。高程基准面选择不同, 就会有不同的高程系统。测绘工作中常用的高程基准面有参考椭球体面 and 大地水准面, 其相应的高程称为大地高和海拔高。地面上任意两点之间的高程之差称为高差。

我国大地水准面的确定方法是在青岛市的黄海边设立测定海水高低起落的验潮站, 通过长期观测, 求得平均海面, 并将其作为高程基准面, 此基准面的高程为零, 再用测绘的方法由验潮站引测至陆地上的一个有固定位置的点, 求得此点的高程值, 并称此点为高程原点, 全国各地的高程均由此高程原点为起算点而测得。

1980年以前, 我国主要采用“1956年黄海高程系”, 它利用青岛验潮站1950~1956年观测的潮位成果求得的黄海平均海面作为高程的零点, 因观测时间短, 准确性较差, 后改用1953~1979年的观测资料重新对其进行计算, 并将计算结果命名为“1985年国家高程系统”(1987年5月26日正式公布使用)。由于高程基准面发生了变化, 因此, 这两个高程系统存在一定的差异, 它们的关系如下:

$$H_{85} = H_{56} - 0.029 \quad (1-3)$$

我国在新中国成立前曾采用过许多高程系统, 如吴淞口高程系统等, 有的高程系统现在还在沿用。由于高程基准面的不同, 其实际代表的高程也不一样, 因此, 在使用高程资料时, 应注意水准点所在的高程系统, 以避免发生错误。

第三节 用水平面代替水准面的限度

在工程测量中, 一般测区的范围较小, 为了简化计算, 常常将椭球面视为球面, 甚至视为平面, 这是一种近似的做法, 存在一定的误差。因此, 应设置一个限度, 即在该限度内, 将椭球面作为平面所产生的误差不能超过工程地形图和施工放样的精度要求。

一、地球曲率对水平距离的影响

如图1-7所示, 设地面上有 A' 、 B' 两点, 在水准面上的投影分别为 A 、 B , 在水平面上的投影为 A 、 C 。若以平面上的距离 AC (设为 t)代替水准面上的距离(设为 d), 其误差为

$$\Delta d = t - d = R \tan \alpha - R \alpha \quad (1-4)$$

式中, R ——地球半径, $R=6371\text{km}$;

α ——弧长 d 所对的圆心角。

将 $\tan \alpha$ 用级数展开, 并取其前两项可得