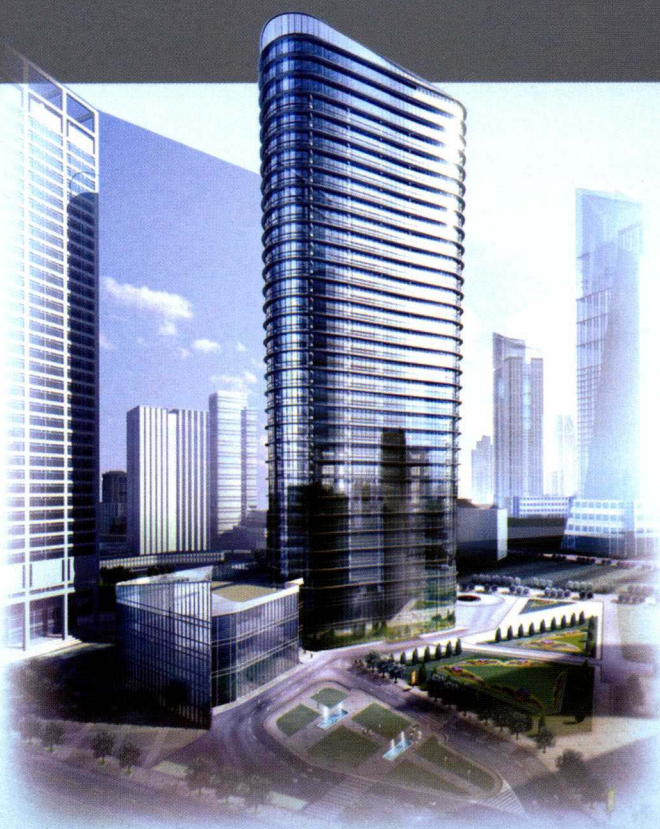


高等职业教育土建类新编技能型规划教材

建筑工程测量

张敬伟 主编



黄河水利出版社

JIANZHU
GONGCHENG
CELIANG

内容提要

本书介绍了建筑工程测量中普遍采用的水准仪、经纬仪和钢尺等常规测绘技术,还详细介绍了电子经纬仪、光电测距仪、全站仪和 GPS 定位等现代测绘技术。本书主要内容有绪论、水准仪及其应用、经纬仪及其应用、距离测量与直线定向、测量误差基础、小地区控制测量、地形测量、建筑施工测量、建筑物变形观测及竣工测量、道路和管线施工测量,以及全站仪、GPS 及其应用等。

本书适用于高职高专院校土木工程、地下与隧道工程、城乡规划、市政工程、工程监理、给水排水等专业师生使用,也可以供相关的工程技术人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

建筑工程测量/张敬伟主编. —郑州:黄河水利出版社,
2014.1

高等职业教育土建类新编技能型规划教材

ISBN 978 - 7 - 5509 - 0662 - 4

I. ①建… II. ①张… III. ①建筑测量 - 高等职业
教育 - 教材 IV. ①TU198

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 305822 号

出版社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼 14 层

邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371 - 66026940、66020550、66028024、66022620(传真)

E-mail:hhsicbs@126.com

承印单位:郑州海华印务有限公司

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印张:16.5

字数:402 千字

印数:1—4 100

版次:2014 年 1 月第 1 版

印次:2014 年 1 月第 1 次印刷

定价:34.00 元

前 言

本书是根据高等职业院校土木工程专业的培养目标和教学大纲的要求编写的系列教材之一。本书充分总结了教学与实践经验,对基本理论的讲授以应用为目的,教学内容以必需、够用为度,突出实训、实例,紧跟时代和行业发展步伐,力求体现高职高专、应用型教育,注重职业能力培养的特点;注重测量基本计算和测绘仪器的基本操作,使学生学完本课程后能够理论联系实际,学会分析和解决建筑工程测量中的实践问题。

本书介绍了建筑工程测量中普遍采用的水准仪、经纬仪和钢尺测量等常规测绘技术,还详细介绍了电子经纬仪、光电测距仪、全站仪和 GPS 定位测量等现代测绘技术。本书主要介绍了水准测量、角度测量、距离测量与直线定向、测量误差基础、小地区控制测量、地形测量、建筑施工测量、变形观测及竣工测量、道路和管线施工测量和全站仪、GPS 及其应用等内容。同时在编写过程中收集了大量的教材和测量新规范,并吸取其精华,在总结近几年高职院校课堂教学和综合实训经验的基础上,结合我国实际情况,按土木工程专业的特点编写成书。本书可供高职高专院校土木工程、地下与隧道工程、城乡规划、市政工程、工程监理、给水排水等专业师生使用,也可供相关的工程技术人员参考。

本书共 11 个单元,教学时数建议按 68 学时安排,其中 28 学时为课堂实训和习题课。

本书主编为河南建筑职业技术学院张敬伟,副主编为许昌职业技术学院徐伟玲、焦作大学李丽和商丘职业技术学院韩庆。

本书参编人员有河南建筑职业技术学院张敬伟、马华宇,许昌职业技术学院徐伟玲,焦作大学李丽,商丘职业技术学院韩庆和郑州城市职业学院黑君森。其中单元 1、2、7 由张敬伟编写,单元 3、4 由徐伟玲编写,单元 5、6 由李丽编写,单元 8、9 由韩庆编写,单元 10 由黑君森编写,单元 11 由马华宇编写。全书由张敬伟统稿。

由于时间较紧,加之编者水平有限书中难免存在缺点和不妥之处,恳请使用本书的教师与工程技术人员批评指正。

编 者

2013 年 12 月

目 录

单元 1 绪 论	(1)
课题 1 建筑工程测量的任务	(1)
课题 2 地面点位的确定	(3)
课题 3 用水平面代替水准面的限度	(10)
课题 4 测量工作概述	(12)
小 结	(15)
习 题	(16)
单元 2 水准仪及其应用	(17)
课题 1 水准仪的认识和使用	(17)
课题 2 水准测量的施测与检核	(23)
课题 3 水准测量内业计算	(27)
课题 4 微倾式水准仪的检验与校正	(29)
课题 5 水准测量误差分析及注意事项	(32)
课题 6 其他水准仪简介	(35)
小 结	(41)
习 题	(43)
单元 3 经纬仪及其应用	(46)
课题 1 经纬仪的认识与使用	(47)
课题 2 经纬仪测水平角	(51)
课题 3 经纬仪测竖直角	(54)
课题 4 三角高程测量	(58)
课题 5 经纬仪的检验与校正	(60)
课题 6 电子经纬仪的构造及其使用	(63)
小 结	(65)
习 题	(66)
单元 4 距离测量与直线定向	(68)
课题 1 钢(皮)尺量距	(68)
课题 2 普通视距测量	(74)
课题 3 光电测距仪测距	(76)
课题 4 直线定向	(80)
课题 5 电子全站仪测距	(83)
小 结	(87)
习 题	(88)

单元5 测量误差基础	(89)
课题1 测量误差概述	(89)
课题2 衡量精度的标准	(92)
课题3 观测值的算术平均值	(94)
课题4 误差传播定律	(98)
小 结	(102)
习 题	(103)
单元6 小地区控制测量	(105)
课题1 控制测量概述	(105)
课题2 小地区平面控制测量	(110)
课题3 导线测量的内业计算	(113)
课题4 交会测量	(121)
课题5 小地区高程控制测量	(123)
小 结	(129)
习 题	(130)
单元7 地形测量	(132)
课题1 地形图的基本知识	(132)
课题2 大比例尺地形图测绘	(144)
课题3 数字化测图方法简介	(151)
课题4 地形图的应用	(153)
课题5 地理信息系统(GIS)概述	(161)
课题6 地籍测量简介	(162)
小 结	(170)
习 题	(171)
单元8 建筑施工测量	(172)
课题1 测设的基本工作和测设点位的方法	(172)
课题2 建筑场地上的控制测量	(179)
课题3 民用建筑施工测量	(183)
课题4 工业建筑施工测量	(190)
小 结	(197)
习 题	(198)
单元9 建筑物变形观测和竣工测量	(199)
课题1 建筑物沉降观测	(199)
课题2 建筑物倾斜观测	(202)
课题3 竣工总平面图的编绘	(204)
小 结	(207)
习 题	(207)
单元10 道路和管线施工测量	(208)
课题1 圆曲线测设	(208)

课题2 中线测量	(215)
课题3 路线纵、横断面测量	(221)
小 结	(226)
习 题	(227)
单元11 全站仪、GPS 及其应用	(228)
课题1 全站仪的认识	(228)
课题2 全站仪的使用	(233)
课题3 GPS 定位系统概述	(244)
习 题	(252)
参考文献	(253)

单元 1 绪 论

【引言】

本单元主要介绍测量学的基本概念。重点讲述测量学的研究内容和任务,简述地球表面特征及研究方法,介绍测量常用的坐标系统及地球表面点位置的确定方法和测量原理,分析用水平面代替水准面的限度,测量工作的原则和程序。

课题 1 建筑工程测量的任务

【任务介绍】

建筑工程测量是测量学的重要组成部分之一,是工程技术人员必须掌握的技术。

【任务目标】

介绍测量学的定义、研究内容,测量学的发展历史,在各行各业的作用,测量学的学科分类以及建筑工程测量的任务和作用。

一、测量学的定义、研究内容与作用

测量学是研究地球的形状和大小以及确定地面点空间位置的科学。它的内容包括测定和测设两部分。测定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,再把地球表面的形状缩绘成地形图,供经济建设、国防建设及科学研究使用。测设(放样)是指用一定的测量方法和精度,把图纸上规划设计好的建(构)筑物的位置标定在实地上,作为施工的依据。

测量学是一门历史悠久的科学。早在几千年前,由于当时社会生产发展的需要,中国、埃及和希腊等国家的劳动人民就开始创造与运用测量工具进行测量。我国在古代就发明了指南针、浑天仪等测量仪器,为天文、航海及测绘地图作出了重要贡献。随着人类社会的需求和近代科学技术的发展,测量技术已由常规的大地测量发展到空间卫星大地测量,由航空摄影测量发展到应用航天遥感技术测量;测量对象由地球表面扩展到空间星球,由静态发展到动态;测量仪器已广泛趋向于精密化、电子化和自动化。新中国成立 60 多年来,我国测绘事业得到了蓬勃发展,在天文大地测量、人造卫星大地测量、航空摄影与遥感、精密工程测量、近代平差计算、测量仪器研制、地球南北极科学考察以及测绘人才培养等方面,都取得了令人鼓舞的成就。我国的测绘科学技术已跃居世界先进行列。

测量技术是了解自然、改造自然的重要手段,也是国民经济建设中一项基础性、前期和超前期的信息性工作。在当前信息社会中,测绘资料是重要的基础信息之一,测绘成果也是信息产业的重要内容。测量技术及成果的应用面很广,对国民经济建设、国防建设和科学研究有着十分重要的作用。国民经济建设的发展总体规划,城市建设与改造,工矿企业建设,公路、铁路的修建,各种水利工程和输电线路的兴建,农业规划和管理,森林资源的保护和利用,矿产资源的勘探和开采等都需要测量资料。在国防建设中,测量技术对国防工程建设、

作战战役部署和现代化诸兵种协同作战都起着重要的作用。测量技术在空间技术研究、地壳形变、地震预报、地球动力学等科学研究方面是不可缺少的工具。

二、测量学的分类

测量学按照研究对象及采用技术的不同,分为多个学科分支,如大地测量学、普通测量学、工程测量学、摄影(遥感)测量学、海洋测量学、地图制图学等。其中:

大地测量学——研究地球的形状和大小,解决大范围的控制测量和地球重力场问题。近年来随着空间技术的发展,大地测量正在向空间大地测量和卫星大地测量方向发展与普及。

摄影测量学——研究利用摄影或遥感技术获取被测物体的信息,以确定物体的形状、大小与空间位置的理论和方法。由于获得像片的方式不同,摄影测量又分为航空摄影测量、水下摄影测量、地面摄影测量和航空遥感测量等。

普通测量学——研究小范围地球表面形状的测量问题,是不顾及地球曲率的影响,把地球局部表面当作平面看待来解决测量问题的理论和方法。

海洋测量学——以海洋和陆地水域为研究对象,研究港口、码头、航道及水下地形测量的理论和方法。

工程测量学——研究各种工程在规划设计、施工放样、竣工验收及运营中测量的理论和方法。

地图制图学——研究各种地图的制作理论、原理、工艺技术和应用的一门学科。研究内容主要包括地图编制、地图投影学、地图整饰、印刷等。现代地图制图学已发展到了制图自动化、电子地图制作以及地理信息系统(GIS)阶段。

三、建筑工程测量的任务和作用

建筑工程测量是面向土木建筑类工程的勘测、规划、设计、施工与管理等专业的测量学,属于普通测量学和工程测量学范畴。主要任务是:

(1)研究测绘大比例尺地形图的理论和方法。

大比例尺地形图是工程勘察、规划、设计的依据。测量学是研究确定地面局部区域建筑物、构筑物、天然地物及地貌的空间三维坐标的原理和方法,研究局部地区地图投影理论,以及将测绘资料按比例绘制成地形图或电子地图的原理和方法。

(2)研究在地形图上进行规划、设计的基本原理和方法。

在地形图上进行土地平整、土方计算、道路选线、房屋设计与区域规划的基本原理和方法。

(3)研究建(构)筑物施工放样及施工质量检验的技术与方法。

研究将规划设计在图纸上的建筑物、构筑物准确地放样和标定在地面上的技术与方法。研究施工过程中的监测技术,以保证施工的质量和安

(4)对大型建(构)筑物的安全性进行位移和变形监测。

在大型建筑物施工过程中或竣工后,为确保工程施工和使用的安全,应对建筑物进行位移和变形监测。主要讲述位移和变形监测的技术与方法。

测量工作贯穿于工程建设的整个过程之中。离开了测绘资料,就难以进行科学合理的规划、设计;离开了施工测量,就不能安全、优质地施工;离开了位移和变形观测,就不能有效

地研究规划设计和施工的技术质量,不能及时采取有效的安全措施,也不能为研究新的科学的设计理论和方法提供依据。因此,从事土木建筑类专业的技术人员和相关的管理人员,必须掌握测量的基本知识和技能。

课题 2 地面点位的确定

【任务介绍】

测量工作的实质就是确定地面点在规定坐标系的位置。了解地球的自然形状和大小很重要。

【任务目标】

确定地面点位的基本方法是数学(几何)方法,用空间三维坐标表示。地面点的空间位置与一定的坐标系统相对应。在测量上常用的坐标系有空间直角坐标系、地理坐标系、高斯投影平面直角坐标系、平面独立直角坐标系等。地面点位的三维在空间直角坐标系中用 X 、 Y 、 Z 表示,在地理坐标系和高斯投影平面直角坐标系中,前两个量为平面坐标,它表示地面点沿着基准线投影到基准面上后在基准面上的位置。基准线可以是铅垂线,也可以是法线。基准面是大地水准面、平面或者是椭球体面。第三个量是高程,表示地面点沿基准线到基准面的距离。因此,又称为球面坐标。

一、地球的自然形状和大小

测量工作是在地球的自然表面上进行的,而地球自然表面是极不平坦和不规则的。它上面有高山、平原、江河和湖泊,有位于我国青藏高原上高于海平面 8 844.43 m 的珠穆朗玛峰(原发布的数字为 8 848.13 m),有位于太平洋西部低于海平面 11 022 m 的马里亚纳海沟,形状十分复杂。但是这样的高低差距与地球平均半径 6 371 km 相比起伏很微小,所以仍可以将地球作为球体看待。地球自然表面大部分是海洋,面积占地球表面的 71%,陆地仅占 29%。因此,人们设想将静止的海水面向整个陆地延伸,用所形成的封闭曲面代替地球表面,这个曲面称为大地水准面。大地水准面所包含的形体称为大地体,它代表了地球的自然形状和大小。

二、大地体的形状表达式及其元素值

地球是太阳系中的一颗行星,它围绕着太阳旋转,又绕着自己的旋转轴自转。地球上的各种物体都受到地心引力、地球自转的离心力及太阳、月亮等星体的引力作用。这里主要考虑地心引力和离心力作用,这两个力的合力称为重力,见图 1-1。一条细绳系一个锤球,细绳在重力作用下形成的下垂线称为铅垂线。铅垂线方向即重力的方向,铅垂线是测量工作的基准线。

水是均质流体,而地球表面的水受重力的作用,其表面就形成了一个处处与重力方向垂直的连续曲面,称为水准面。水准面是重力等位面,是一个曲面,而与水准面相切的平面称为水平面。自由、静止的海洋和湖泊等的水面都是水准面。水准面因其高度不同而有无穷

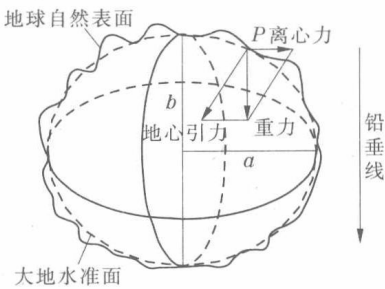


图 1-1 地球重力线

多个,但水准面之间因高度不同不会相交。

大地水准面是水准面中的一个特殊的水准面,即在海洋中与静止海水面重合。静止的海水面是难以找到的,所以测量中便将与平均海水面相吻合,并延伸穿过大陆和岛屿而形成的封闭曲面,作为大地水准面。它最接近地球的真实形态和大小。所以,我们常把大地水准面作为测量工作的基准面。

由于地球内部物质构造分布的不均匀,地球表面起伏不平,所以大地水准面各处重力线方向是不规则的,地球重力场是不均匀的。重力方向会偏离低密度物体,偏向高密度物体,为此大地水准面是一个起伏变化的不规则曲面。这样的曲面很难在其上面进行测量数据的处理,见图 1-2。

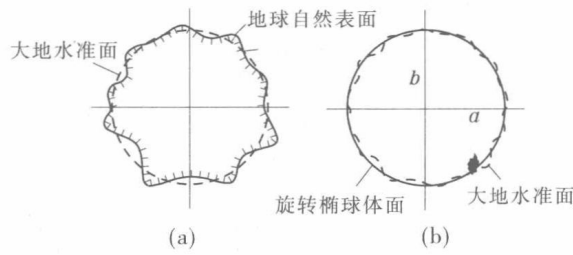


图 1-2 大地水准面与地球旋转椭球体面示意图

为了便于正确地计算测量成果,准确表示地面点的位置,测量中选用一个大小和形状接近大地体的旋转椭球体作为地球的参考大小和形状。这个旋转椭球体称为参考椭球体,它是一个规则的曲面体。可以用数学公式来表示,即

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

式中: a 、 b 为参考椭球体的几何参数。 a 为长半径, b 为短半径。参考椭球体扁率 α 应满足下式:

$$\alpha = \frac{a - b}{a} \tag{1-2}$$

旋转椭球体参数值见表 1-1。我国采用的参考椭球体几何参数为 1980 年国家大地坐标系,采用国际大地测量协会与地球物理联合会在 1975 年推荐的 IUGG-75 地球椭球。其参数为

$$a = 6\,378\,140\text{ m}, b = 6\,356\,755.3\text{ m}, \alpha = 1/298.257$$

表 1-1 旋转椭球体参数值

坐标系名称	椭球体名称	长半轴 $a(\text{m})$	参考椭球体扁率 α	推算年代和国家
1954 北京坐标系	克拉索夫斯基	6 378 245	1:298.3	1940 年苏联
1980 西安坐标系	IUGG-75	6 378 140	1:298.257	1975 年国际大地测量 与地球物理联合会
2000 国家大地坐标系(GPS)	CGCS2000	6 378 137	1:298.257 223 563	2008 年中国
WGS-84 坐标系(GPS)	WGS-84	6 378 137	1:298.257 223 563	1984 年美国

由于参考椭球体扁率很小,所以在测量精度要求不高的情况下,可以近似地把地球当作

求算坐标方法的不同,地理坐标又可分为天文地理坐标和大地地理坐标两种。图 1-4(a) 为天文地理坐标,其基准是铅垂线 and 大地水准面,它表示地面点 A 在大地水准面上的位置,用天文经度 λ 和天文纬度 φ 表示。天文经、纬度是用天文测量的方法直接测定的。

大地地理坐标的基准是法线和参考椭球面,是表示地面点在地球椭球面上的位置,用大地经度 L 和大地纬度 B 表示。大地经度、纬度是根据大地测量所得数据推算得到的。

图 1-4(b) 表示以 O 为球心的参考椭球体, N 为北极、 S 为南极, NS 为短轴。过中心 O 并与短轴垂直且与椭球相交的平面为赤道面, P 为地面点,含有短轴的平面为子午面。过 P 点沿法线 PK_P 投影到椭球体面上,得到 P' 点。 $NP'S$ 是过 P 点子午面在椭球体面上投影的子午线。过格林尼治天文台的子午线称为本初子午线或首子午线。 $NP'S$ 子午面与本初子午面所夹的两面角 L_P 称为 P 点的大地经度。法线 PK_P 与赤道平面的交角 B_P 称为 P 点的大地纬度。 P 点沿法线到椭球体面的距离 PP' 称为 P 点的大地高 H_P 。

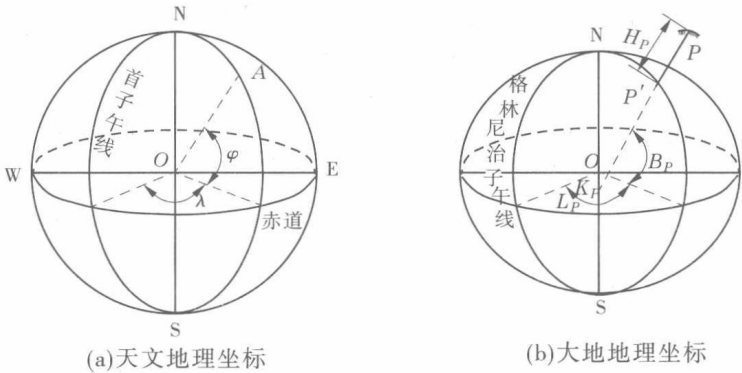


图 1-4 地理坐标

国际规定:过格林尼治天文台的子午面为零子午面,经度为 0° ,以东为东经,以西为西经,其值域均为 $0^\circ \sim 180^\circ$;纬度以赤道面为基准面,以北为北纬,以南为南纬,其值均为 $0^\circ \sim 90^\circ$ 。椭球体面上的大地高为零。沿法线在椭球体面外为正,在椭球体面内为负。我国处于东经 $74^\circ \sim 135^\circ$,北纬 $3^\circ \sim 54^\circ$ 。如北京位于北纬 40° 、东经 116° ,用 $B = 40^\circ N, L = 116^\circ E$ 表示。

地面点位也用空间直角坐标 (X, Y, Z) 表示,如 GPS 中使用的 WGS - 84 系统,见图 1-5。WGS 即 World Geodetic System 的缩写,它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。该坐标系以地心 O 为坐标原点, ON 即旋转轴,为 Z 轴方向;格林尼治子午线与赤道面交点与 O 的连线为 X 轴方向;过 O 点与 XOZ 面垂直,并与 X, Z 构成右手坐标系者为 Y 轴方向。点 P 的空间直角坐标为 (X_P, Y_P, Z_P) ,它与大地坐标 B, L, H 之间可用公式转换。

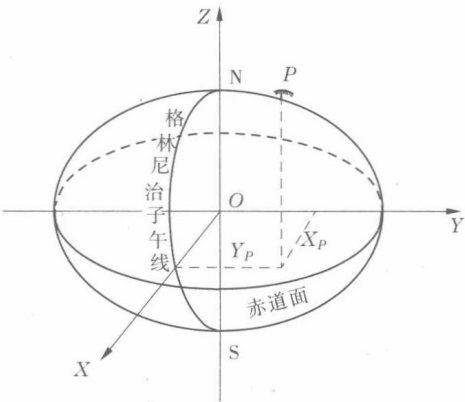


图 1-5 空间直角坐标系

2. 高斯平面直角坐标

1) 测量问题的提出

大地坐标系是大地测量的基本坐标。常用于大地问题的解算,研究地球形状和大小,编制地图,火箭和卫星发射及军事方面的定位与运算,若将其直接用于工程建设规划、设计、施

工等很不方便。所以要将球面上的大地坐标按一定数学法则归算到平面上,即采用地图投影的理论绘制地形图,才能用于规划建设。

上述地理坐标只能确定地面点在大地水准面或地球椭球面上的位置,不能直接用来测图。测量上的计算最好是在平面上进行。

2) 解决问题的方案

椭球体面是一个不可直接展开的曲面。故将椭球体面上的元素按一定条件投影到平面上总会产生变形。测量上常以投影变形不影响工程要求为条件选择投影方法。地图投影有等角投影、等面积投影和任意投影三种,一般常用等角投影。

等角投影又称为正形投影,它保证在椭球体面上的微分图形投影到平面后将保持相似。这是地形图的基本要求。正形投影有两个基本条件:

(1) 保角条件,即投影后角度大小不变。

(2) 长度变形固定性,即长度投影后会变形,但是在一点上各个方向的微分线段变形比 m 是个常数 k :

$$m = \frac{ds}{dS} = k \tag{1-4}$$

式中: ds 为投影后的长度; dS 为球面上的长度。

3) 高斯平面直角坐标

(1) 高斯投影的概念。

高斯是德国杰出的数学家、测量学家。在 1820 ~ 1830 年间,为解决德国汉诺威地区大地测量投影问题,提出了横椭圆柱投影方法(即正形投影方法)。从 1912 年起,德国学者克吕格将高斯投影公式加以整理和扩充并导出了实用的计算公式,所以该方法又称为高斯-克吕格正形投影。它是将一个横椭圆柱面套在地球椭球体上,见图 1-6。椭球体中心 O 在椭圆柱中心轴上,椭球体南北极与椭圆柱相切,并使某一子午线与椭圆柱相切。此子午线称中央子午线。然后将椭球体面上的点、线按正形投影条件投影到椭圆柱面上(假想在地心置一个点光源,向周围放射,则地球表面上与椭圆柱面相关的点,均可投影到椭圆柱面上),再沿椭圆柱 N、S 点的母线割开,展成平面,即成为高斯投影平面。在此平面上:

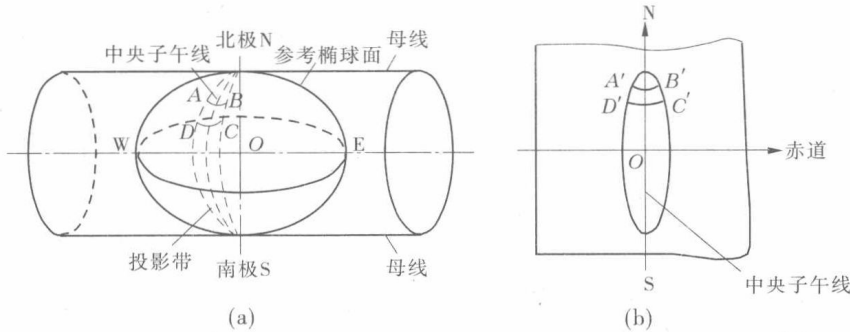


图 1-6 高斯投影

- ◆ 中央子午线是直线,其长度不变形,离开中央子午线的其他子午线是弧形,凹向中央子午线。离开中央子午线越远,变形越大。
- ◆ 投影后赤道是一条直线,赤道与中央子午线保持正交。
- ◆ 离开赤道的纬线是弧线,凸向赤道。

高斯投影可以将椭球面变成平面,但是离开中央子午线越远变形越大,这种变形将会影响测图和施工精度。为了对长度变形加以控制,测量中采用了限制投影宽度的方法,即将投影区域限制在靠近中央子午线的两侧狭长地带。这种方法称分带投影。投影带宽度是以相邻两个子午线的经差 δ 来划分的,有 6° 、 3° 、 1.5° 带等。 6° 带投影是从英国格林尼治子午线开始,自西向东,每隔 6° 投影一次。这样将椭球分成60个带,编号为1~60带,见图1-7。各带中央子午线经度(L_0^6)可用下式计算:

$$L_0^6 = 6N - 3 \tag{1-5}$$

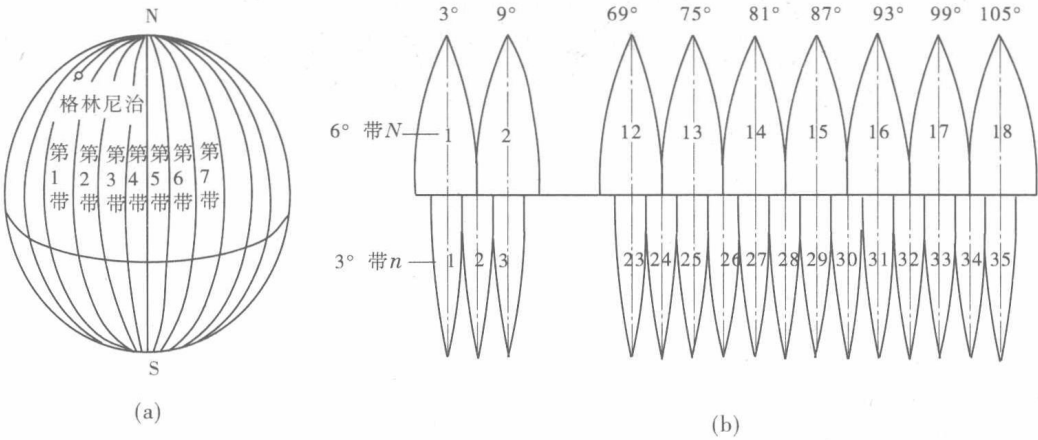


图 1-7 6° 带和 3° 带投影

式中: N 为 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:

$$6^\circ \text{带:} \quad N = \frac{L}{6} (\text{取整}) + 1 (\text{有余数时}) \tag{1-6}$$

$$3^\circ \text{带:} \quad n = \frac{L}{3} (\text{四舍五入}) \tag{1-7}$$

3° 带是在 6° 带基础上划分的,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带,各带中央子午线经度为:

$$L_0^3 = 3n \tag{1-8}$$

式中: n 为 3° 带的带号。

我国幅员辽阔,含有11个 6° 带,即从13~23带(中央子午线从 $75^\circ \sim 135^\circ$),21个 3° 带,从25~45带。北京位于 6° 带的第20号带,中央子午线经度为 117° 。

(2) 高斯平面直角坐标系的建立。

在高斯投影平面上,中央子午线和赤道的投影是两条相互垂直的直线。因此规定:中央子午线的投影为高斯平面直角坐标系的 x 轴,赤道的投影为高斯平面直角坐标系的 y 轴,两轴交点 O 为坐标原点,并令 x 轴上原点以北为正, y 轴上原点以东为正,象限按顺时针 I、II、III、IV 排列,由此便建立了高斯平面直角坐标系。见图1-8。

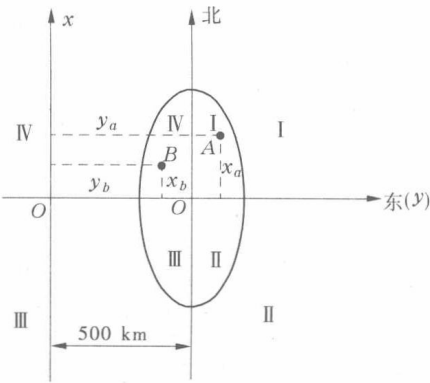


图 1-8 高斯平面直角坐标

由于我国国土全部位于北半球(赤道以北),故我国国土上全部点位的 x 坐标值均为正值,而 y 坐标值则有正有负。为了避免 y 坐标值出现负值,我国规定将每带的坐标原点向西移 500 km。由于各投影带上的坐标系采用相对独立的高斯平面直角坐标系,为了能正确区分某点所处投影带的位置,规定在横坐标 y 值前面冠以投影带的带号。例如,图 1-8 中 B 点位于高斯投影 6° 带第 20 号带内($n=20$),其真正横坐标 $y_b = -113\,424.690\text{ m}$,按照上述规定 y 值应改写为 $y_b = 20(-113\,424.690 + 500\,000) = 20\,386\,575.310(\text{m})$ 。反之,人们从这个 y_b 值中可以知道,该点是位于第 20 号 6° 带,其真正横坐标 $y_b = 386\,575.310 - 500\,000 = -113\,424.690(\text{m})$ 。

高斯投影是正形投影,一般只需将椭球面上的方向、角度及距离等观测值经高斯投影的方向改化和距离改化后,归化为高斯投影平面上的相应观测值,然后在高斯平面坐标系内进行平差计算,从而求得地面点位在高斯平面直角坐标系内的坐标。

高斯平面直角坐标系与数学中的笛卡儿坐标系不同(见图 1-9)。高斯直角坐标系纵坐标为 x 轴,横坐标为 y 轴。坐标象限为顺时针方向编号。角度起算是从 x 轴的北方向开始,顺时针计算。这些定义都与数学中的定义不同,目的是定向方便,并能将数学上的几何公式直接应用到测量计算中,而无需作任何变更。

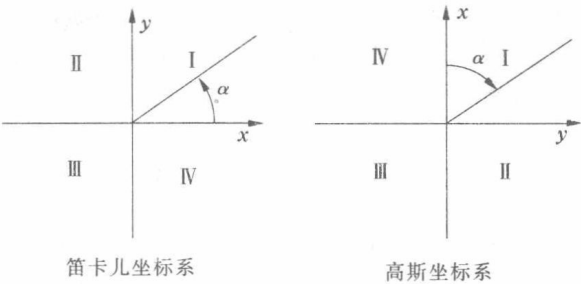


图 1-9 笛卡儿坐标系和高斯直角坐标系

3. 独立(假定)平面直角坐标

《城市测量规范》(CJJ 8—2011)规定,面积小于 25 km^2 的城镇,可不经投影,采用假定平面直角坐标系统在平面上直接进行计算。

实际测量中,一般将坐标原点选在测区的西南角,使测区内的点位坐标均为正值(第一象限),与高斯平面直角坐标系的特点一样,以该测区的子午线的投影为 x 轴,向北为正,与之相垂直的为 y 轴,向东为正,象限顺时针编号。由此便建立了该测区的独立平面直角坐标系,如图 1-10 所示。

上述三种坐标系之间也是相互联系的,例如地理坐标与高斯平面直角坐标之间可以互相换算,独立平面直角坐标也可与高斯平面直角坐标(国家统一坐标系)之间联测和换算。它们都是以不同的方式来表示地面点的平面位置。

我国选择陕西泾阳县永乐镇某点为大地原点,进行大地定位。利用高斯平面直角坐标的方法建立了全国统一坐标系,即现在使用的“1980 年国家大地坐标系”,简称“80 系”或

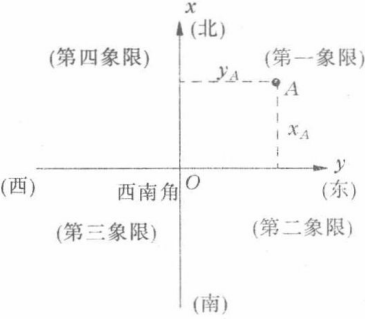


图 1-10 独立平面直角坐标

“西安系”。以前使用的是“1954 北京坐标系”，其原点位于苏联列宁格勒天文台中央，是与苏联 1940 年普尔科夫坐标系联测，经东北传递过来的坐标。我国自 2008 年 7 月 1 日起启用 2000 国家大地坐标系。

综上所述，当通过测量与计算，求得表示地面点位置的三个量，即 x 、 y 、 H ，那么地面点的空间位置也就可以确定了。

课题 3 用水平面代替水准面的限度

【任务介绍】

普通测量是将大地水准面近似地看作圆球面，将地面点投影到圆球上，然后描绘到平面图纸上，显然这是很复杂的工作。在实际测量工作中，在一定的精度要求和测区面积不大的情况下，往往以测区中心的切平面代替水准面，直接将地面点沿铅垂线方向投影到测区中心的水平面上来决定其位置，这样可以简化计算和绘图工作。

【任务目标】

从理论上讲，即使是将极小部分的水准面（曲面）当作水平面也是要产生变形的，必然给测量观测值（如距离、高差等）带来影响。但是由于测量和制图本身会有不可避免的误差，如当上述这种影响不超过测量和制图本身的误差范围时，认为用水平面代替水准面是可行的，而且是合理的。下面讨论用水平面代替水准面对距离和高差的影响（或称地球曲率的影响），以便给出用水平面代替水准面的限度。

一、对距离的影响

如图 1-11 所示，设球面（水准面） P 与水平面 P' 在 A 点相切， A 、 B 两点在球面上弧长为 D ，在水平面上的距离（水平距离）为 D' ，即

$$D = R \cdot \theta \quad D' = R \cdot \tan \theta$$

式中： R 为球面 P 的半径； θ 为弧长 D 所对的圆心角。

以 ΔD 表示用水平面的距离 D' 代替球面上弧长 D 后所产生的误差，则

$$\Delta D = D' - D = R(\tan \theta - \theta) \quad (1-9)$$

将式(1-9)中 $\tan \theta$ 按级数展开，并略去高次项，得

$$\tan \theta = \theta + \frac{1}{3}\theta^3 + \frac{2}{15}\theta^5 + \dots$$

因此

$$\Delta D = R \left[\left(\theta + \frac{1}{3}\theta^3 + \frac{2}{15}\theta^5 + \dots \right) - \theta \right] = R \cdot \frac{1}{3}\theta^3$$

以 $\theta = \frac{D}{R}$ 代入上式，得

$$\Delta D = \frac{D^3}{3R^2} \quad (1-10)$$

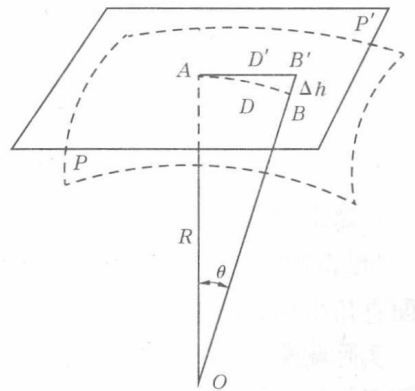


图 1-11 水平面代替水准面的影响

$$\frac{\Delta D}{D} = \frac{1}{3} \left(\frac{D}{R} \right)^2 \tag{1-11}$$

若取地球平均曲率半径 $R=6\,371\text{ km}$,并以不同的 D 值代入式(1-10)或式(1-11),则可得出距离误差 ΔD 和相应的相对误差 $\Delta D/D$,如表 1-2 所列。

表 1-2 水平面代替水准面的距离误差和相对误差

距离 $D(\text{km})$	距离误差 $\Delta D(\text{mm})$	相对误差 $\Delta D/D$
10	8	1/1 220 000
25	128	1/200 000
50	1 026	1/49 000
100	8 212	1/12 000

由表 1-2 可知,当距离为 10 km 时,用水平面代替水准面(球面)所产生的距离相对误差为 1/1 220 000,这样小的距离误差与常规量距的允许误差 1/3 000 ~ 1/150 000 相比是微不足道的,即使是在地面上进行最精密的距离测量也是允许的。因此,可以认为在半径为 10 km 的范围内(相当于面积 320 km²),用水平面代替水准面所产生的距离误差可忽略不计,也就是可不考虑地球曲率对距离的影响。当精度要求较低时,还可以将测量范围的半径扩大到 25 km。

二、对高差的影响

在图 1-11 中, A 、 B 两点在同一球面(水准面)上,其高程应相等(即高差为零)。 B 点投影到水平面上得 B' 点,则 BB' 即为水平面代替水准面产生的高差误差。设 $BB' = \Delta h$,则

$$(R + \Delta h)^2 = R^2 + D'^2 \tag{1-12}$$

即
$$2R \cdot \Delta h + \Delta h^2 = D'^2$$

$$\Delta h = \frac{D'^2}{2R + \Delta h}$$

上式中,可以用 D 代替 D' ,同时 Δh 与 $2R$ 相比可略去不计,则

$$\Delta h = \frac{D^2}{2R} \tag{1-13}$$

以不同的 D 代入式(1-13),取 $R=6\,371\text{ km}$,则得相应的高差误差值,见表 1-3。

表 1-3 水平面代替水准面的高差误差

距离 $D(\text{km})$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	1	2	5	10
$\Delta h(\text{mm})$	0.8	3	7	13	20	78	14	1 962	7 848

由表 1-3 可知,用水平面代替水准面,在 1 km 的距离上高差误差就有 78 mm,即使距离为 0.1 km(100 m),高差误差也有 0.8 mm。所以,在进行水准(高程)测量时,即使是很短的距离,都应考虑地球曲率对高差的影响,即应当用水准面作为高程测量的基准面。