

| 土建类 |
高职高专创新型
规划教材

建筑工程测量

主编 · 王宏俊 董丽君

Jianzhu
Gongcheng
Celiang

东南大学出版社



建筑工程测量

主编 王宏俊 董丽君

参编 (以拼音为序)

杜成仁 冯 林 贺凯旋

马天晓 王 琳 张红萍

东南大学出版社

·南京·

高职高专土建系列规划教材编审委员会

顾 问 陈万年

主 任 成 虎

副主任 (以拼音为序)

方达宪 胡朝斌 庞金昌 史建农

汤 鸿 余培明 张珂峰

秘书长 戴坚敏

委 员 (以拼音为序)

陈杏祥 党玲博 董丽君 付立彬

顾玉萍 李红霞 李 芸 刘 颖

马 贻 漆玲玲 王风波 王宏俊

王 辉 吴冰琪 吴志红 夏正兵

项 林 徐士云 徐玉芬 于 丽

张先平 张小娜 张晓岩 朱祥亮

朱学佳 左 杰

序

东南大学出版社以国家 2010 年要制定、颁布和启动实施教育规划纲要为契机,联合国内部分高职高专院校于 2009 年 5 月在东南大学召开了高职高专土建类系列规划教材编写会议,并推荐产生教材编写委员会人员。会上,大家达成共识,认为高职高专教育最核心的使命是提高人才培养质量,而提高人才培养质量要从教师的质量和教材的质量两个角度着手。在教材建设上,大会认为高职高专的教材要与实际相结合,要把实践做好,把握好过程,不能通用性太强,专业性不够;要对人才的培养有清晰的认识;要弄清高职院校服务经济社会发展的特色类型与标准。这是我们这次会议讨论教材建设的逻辑起点。同时,对于高职高专院校而言,教材建设的目标定位就是要凸显技能,摒弃纯理论化,使高职高专培养的学生更加符合社会的需要。紧接着在 10 月份,编写委员会召开第二次会议,并规划出第一套突出实践性和技能性的实用型优质教材;在这次会议上大家对要编写的高职高专教材的要求达成了如下共识:

一、教材编写应突出“高职、高专”特色

高职高专培养的学生是应用型人才,因而教材的编写一定要注重培养学生的实践能力,对基础理论贯彻“实用为主,必需和够用为度”的教学原则,对基本知识采用广而不深、点到为止的教学方法,将基本技能贯穿教学的始终。在教材的编写中,文字叙述要力求简明扼要、通俗易懂,形式和文字等方面要符合高职教育教和学的需要。要针对高职高专学生抽象思维能力弱的特点,突出表现形式上的直观性和多样性,做到图文并茂,以激发学生的学习兴趣。

二、教材应具有前瞻性

教材中要以介绍成熟稳定的、在实践中广泛应用的技术和以国家标准为主,同时介绍新技术、新设备,并适当介绍科技发展的趋势,使学生能够适应未来技术进步的需要。要经常与对口企业保持联系,了解生产一线的第一手资料,随时更新教材中已经过时的内容,增加市场迫切需求的新知识,使学生在毕业时能够适合企业的要求。坚决防止出现脱离实际和知识陈旧的问题。在内容安排上,要考虑高职教育的特点。理论的阐述要限于学生掌握技能的需要,不要囿于理论上的推导,要运用形象化的语言使抽象的理论易于为学生认识和掌握。对于实践性内容,要突出操作步骤,要满足学生自学和参考的需要。在内容的选择上,要注意反映生产与社会实践中的实际问题,做到有前瞻性、针对性和科学性。

三、理论讲解要简单实用

将理论讲解简单化,注重讲解理论的来源、出处以及用处,以最通俗的语言告诉学生所学的理论从哪里来用到哪里去,而不是采用烦琐的推导。参与教材编写的人员都具有丰富的课堂教学经验和一定的现场实践经验,能够开展广泛的社会调查,能够做到理论联系实

际,并且强化案例教学。

四、教材重视实践与职业挂钩

教材的编写紧密结合职业要求,且站在专业的最前沿,紧密地与生产实际相连,与相关专业的市场接轨,同时,渗透职业素质的培养。在内容上注意与专业理论课衔接和照应,把握两者之间的内在联系,突出各自的侧重点。学完理论课后,辅助一定的实习实训,训练学生实践技能,并且教材的编写内容与职业技能证书考试所要求的有关知识配套,与劳动部门颁发的技能鉴定标准衔接。这样,在学校通过课程教学的同时,可以通过职业技能考试拿到相应专业的技能证书,为就业做准备,使学生的课程学习与技能证书的获得紧密相连,相互融合,学习更具目的性。

在教材编写过程中,由于编著者的水平和知识局限,可能存在一些缺陷,恳请各位读者给予批评斧正,以便我们教材编写委员会重新审定,再版的时候进一步提升教材质量。

本套教材适用于高职高专院校土建类专业,以及各院校成人教育和网络教育,也可作为行业自学的系列教材及相关专业用书。

高职高专土建系列规划教材编审委员会
2010年1月于南京

前 言

本书是高职高专院校土建类教材,是编者在总结多年的高职教学改革成功经验的基础上,结合我国建筑工程测量的基本情况,按照土木建筑工程相关专业高职人才培养的特点编写的。

本书共分 10 章,主要介绍了测量的三项基本工作及其测量仪器的使用、地形图的测绘与应用、建筑施工测量、路桥施工测量,书的末尾还附加了测量实训指导,以方便教学实训。

本书遵循以“实用为准,够用为度”的原则,在内容和形式上力求浅显易懂,教材与教法在“将知识如何转变为能力”方面有新的突破。在组织教学素材时,站在学生的角度,以学生为中心,抓住学生的学习心理,激发学生的学习热情,使得学生由被动学习变为主动学习。因此,本书结合了大量的图片,重基础,重实用,简理论,力求主线清晰,便于理解、记忆和查阅。

本书由王宏俊、董丽君主编,由王宏俊拟定大纲并统稿。在编写过程中,编者参阅了大量参考文献,在此对原作者表示感谢。由于编者水平所限,书中难免有不足之处,敬请读者批评指正。

编者

2010 年 1 月

目 录

第一篇 测量基础知识

1 概论	(1)
1.1 建筑工程测量的任务	(1)
1.2 地面点位的确定及其表示方法	(2)
1.3 测量的基本工作及基本原则	(9)
2 水准测量	(11)
2.1 水准测量原理	(11)
2.2 DS3 水准仪和水准测量工具	(13)
2.3 水准测量的施测方法	(18)
2.4 水准测量的成果计算	(23)
2.5 水准仪的检验与校正	(26)
2.6 水准测量的误差及注意事项	(29)
2.7 自动安平水准仪、精密水准仪和电子水准仪	(31)
3 角度测量	(37)
3.1 角度测量的原理	(37)
3.2 DJ6 级光学经纬仪	(38)
3.3 DJ6 光学经纬仪的使用	(40)
3.4 水平角的观测	(41)
3.5 竖直角观测	(44)
3.6 经纬仪的检验与校正	(48)
3.7 角度测量的误差分析	(51)
3.8 其他经纬仪简介	(54)
4 距离测量	(58)
4.1 钢尺量距的一般方法	(58)
4.2 钢尺量距的精密方法	(61)
4.3 视距量距	(65)
4.4 光电测距	(68)
4.5 全站仪简介	(70)
4.6 直线定向	(76)
4.7 坐标正、反算	(77)
5 测量误差基本知识	(82)
5.1 测量误差概述	(82)
5.2 偶然误差的特性	(84)

5.3	衡量精度的标准	(85)
5.4	算术平均值及中误差	(87)
5.5	误差传播的定律及其应用	(90)

第二篇 普通测量知识

6	小地区控制测量	(94)
6.1	控制测量概述	(94)
6.2	导线测量的外业工作	(96)
6.3	导线测量的内业计算	(99)
6.4	交会测量	(107)
6.5	高程控制测量	(110)
6.6	GPS 控制测量简介	(115)
7	地形图测绘与应用	(118)
7.1	地形图的基本知识	(118)
7.2	测图前的准备工作	(134)
7.3	测量和选择碎部点的基本方法	(135)
7.4	碎部测量	(139)
7.5	地形图的拼接、整饰、检查和验收	(143)
7.6	地形图识读与分析	(145)
7.7	地形图应用的基本内容	(147)
7.8	地形图在工程设计中的应用	(151)
7.9	平整场地中的土石方估算	(153)
7.10	数字地形图的应用	(158)

第三篇 施工测量实务

8	施工测量的基本工作	(161)
8.1	施工测量概述	(161)
8.2	水平距离、水平角和高程的测设	(161)
8.3	平面点位的测设	(163)
8.4	坡度线的测设	(166)
9	建筑施工测量	(168)
9.1	建筑场地上的控制测量	(168)
9.2	民用多层建筑施工测量	(169)
9.3	高层建筑施工测量	(174)
9.4	工业建筑施工测量	(176)
9.5	建筑物变形观测	(178)
9.6	竣工总平面图的编绘	(181)
9.7	某住宅小区施工测量实例	(183)

10 路桥工程测量	(187)
10.1 道路工程测量概述	(187)
10.2 道路中线测量	(187)
10.3 圆曲线的测设	(192)
10.4 线路纵、横断面的测量	(198)
10.5 道路施工测量	(203)
10.6 桥梁施工测量	(209)
附录 A 测量放线工职业技能标准	(212)
附录 B 建筑工程测量试验与实习	(215)
实训一 水准仪的安置与读数	(217)
实训二 等外闭合水准路线测量	(218)
实训三 水准仪的检验与校正	(220)
实训四 经纬仪的安置与读数	(221)
实训五 经纬仪角度测量	(222)
实训六 经纬仪的检验与校正	(225)
实训七 钢尺一般量距	(227)
实训八 闭合导线外业测量	(228)
实训九 四等水准测量	(230)
实训十 直角坐标法、极坐标法测设点位	(232)
综合实训	(233)
参考文献	(244)

第一篇 测量基础知识

1 概 论

重点提示：通过本章的学习，要明确测量的定义和建筑工程测量的主要任务，了解地球形状和大小的概念，弄清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和基本原则有初步的认识。

1.1 建筑工程测量的任务

1.1.1 测量学的定义

测量学是研究地球的形状、大小和地表(包括地面上各种物体)的几何形状及其空间位置的科学。

测量学的内容包括测定和测设两个部分。测定是指使用测量仪器和工具，按照测量的有关原理和方法，将地球表面的地物和地貌绘制成地形图，为经济建设、国防建设和科学研究等服务。测设是指使用测量仪器和工具，按照测量的有关原理和方法，将图纸上规划设计好的建(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。

1.1.2 测量学科的组成

(1) 大地测量学：以地球表面上较大的区域甚至整个地球作为研究对象。

(2) 普通测量学：研究地球表面较小区域范围，可以不顾及地球曲率的影响，把该小区域投影球面直接当作平面看待。

(3) 摄影测量学：研究如何利用摄影像片来测定地物的形状、大小、位置并获取其他信息的学科。

(4) 工程测量学：研究测量学理论、技术和方法在各类工程中的应用。例如：城市建设以及资源开发各个阶段进行地形和有关信息的采集、施工放样、变形监测等是为工程建设提供测绘保障。

1.1.3 建筑工程测量的任务

建筑工程测量是测量学的一个组成部分。它是研究建筑工程在勘测设计、施工建设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，主要任务如下。

1) 测绘大比例尺地形图

在勘测设计阶段，为了对建筑物的规划设计提供具体的地形资料，需要依照规定的符号和比例尺，把工程建设区域内一些具有代表性的地面特征点和特征线、建筑地区的形状和大小、地面的起伏形态(地貌)和固定性物体(地物)缩小绘制成相似的图形。这种既能表示地

物的平面位置,又能表示地貌变化的平面图,称为地形图。此外,与建筑工程有关的土地划分、用地边界和产界的测定等,需测绘地物平面图。这种只表示地物的平面尺寸和位置,不表示地貌的平面图,称为地物图。对于公路、铁路、管线和特殊构造物的设计,除需提供带状地形图外,还需测绘沿某方向表示地面起伏变化的纵断面图和横断面图。

2) 建筑物的施工测量

在工程建设施工阶段,将拟建建筑物的位置和大小按设计图纸的要求,将其平面位置和高程标定到施工的作业面上作为施工放样的依据,并按施工要求开展各种测量工作,进行竣工测量,为工程验收、日后工程的改扩建和维修管理提供资料。

3) 建筑物的变形观测

对于一些重要的建(构)筑物,为了监测它在各种应力作用下的安全性和稳定性,在施工和运营管理期间需要定期对其进行变形观测。这种观测是在建筑物上设置若干观测点,按照测量的观测程序和周期,测定建筑物及其基础在自身荷载和外力作用下随着时间的推移各观测点产生的位移。变形观测包括沉降观测、水平位移观测和倾斜观测。

1.2 地面点位的确定及其表示方法

1.2.1 地球的形状和大小

1) 水准面和水平面

测量工作是在地球表面进行的,而地球自然表面很不规则,有高山、丘陵、平原和海洋。其中最高的珠穆朗玛峰高出海水面达 8 844. 43 m,最低的马里亚纳海沟低于海水面达 11 022 m。但是这样的高低起伏,相对于地球半径 6 371 km 来说还是很小的。海洋约占整个地球表面的 71%,因此,我们可以设想以一个静止不动的海水面延伸穿越陆地,形成一个闭合的曲面包围了整个地球,这个闭合曲面称为水准面。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,任何自由静止的水面都是水准面。水准面的特点是水准面上任意一点的铅垂线都垂直于该点的曲面。

与水准面相切的平面,称为水平面。

2) 大地水准面

水准面可高可低,因此符合上述特点的水准面有无数个,其中与平均海面吻合并向大陆、岛屿内延伸而形成的闭合曲面,称为大地水准面。大地水准面是测量工作的基准面。

3) 铅垂线

由于地球的自转运动,地球上任一点都要受到离心力和地球引力的双重作用,这两个力的合力称为重力,重力的方向线称铅垂线。铅垂线是测量工作的基准线。在测量工作中,取得铅垂线的方法可用悬挂垂球的细线方向来表示,细线延长线通过垂球 G 尖端(如图 1-1 所示)。

4) 地球椭球体

由大地水准面所包围的形体,称为大地体。用大地体表示地球体

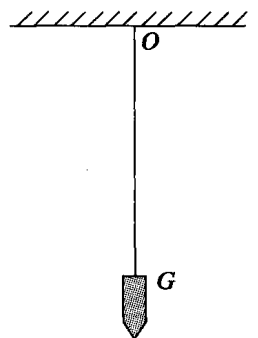


图 1-1 铅垂线

形是恰当的,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有微小起伏的复杂曲面,如图 1-2(a)所示,无法在这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,并可用数学式表示的几何形体(即地球椭球体)来代替地球的形状作为测量计算工作的基准面,称为参考椭球面。地球椭球体是由椭圆 NWSE 绕其短轴 NS 旋转而成的,又称旋转椭球体,如图 1-2(b)所示。

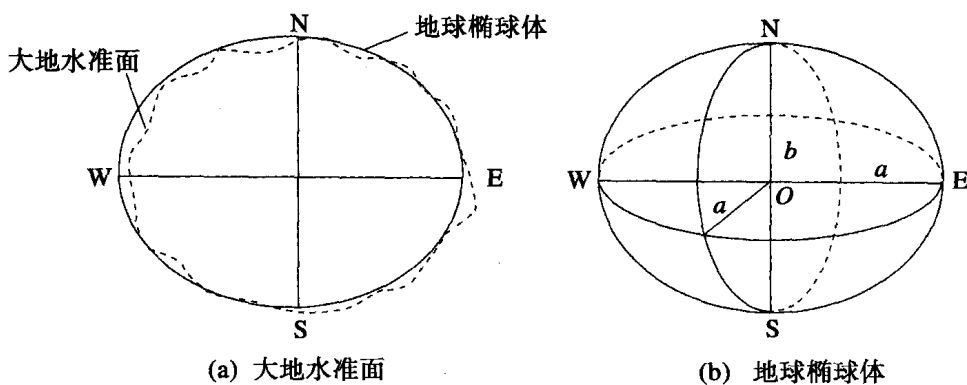


图 1-2 大地水准面与地球椭球体

决定地球椭球体形状和大小的参数为椭圆的长半径 a , 短半径 b , 扁率 α , 其关系式为

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

我国目前采用的地球椭球体的参数值为

$$a = 6\,378\,137 \text{ m}, b = 6\,356\,752 \text{ m}, \alpha = 1 : 298.257$$

由于地球椭球体的扁率 α 很小,当测量的区域不大时,可将地球看作半径为 6 371 km 的圆球。在小范围内进行测量工作时,可以用水平面代替大地水准面。

1.2.2 确定地面点位的方法

地面点的空间位置须由三个参数来确定,即该点在大地水准面上的投影位置(X, Y 坐标)和该点的高程。

地面点位的确定就是将地球表面的点沿铅垂线投影到基准面上,然后在基准面上建立坐标系,确定此点在坐标系中的位置及此点到基准面的铅垂距离(如图 1-3 所示)。

1) 地面点的高程

地面点的高程有绝对高程和相对高程之分。

(1) 绝对高程

地面点到大地水准面的铅垂距离,称为该点的绝对高程,简称高程,用 H 表示。地面点 A, B 的高程分别为 H_A, H_B 。目前,我国采用的是

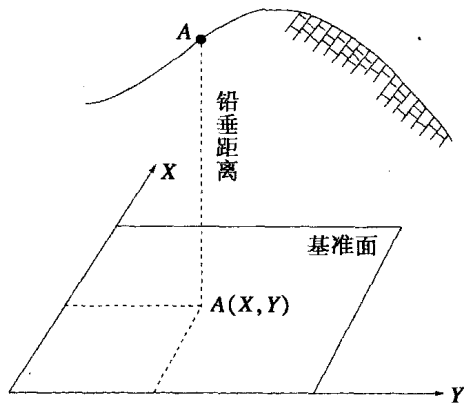


图 1-3 地面点位确定示意图

“1985 国家高程基准”，在青岛建立了国家水准原点，其高程为 72.260 m。

(2) 相对高程

由于“1985 国家高程基准”采用的是青岛验潮站 1953 年至 1979 年验潮资料确定的黄海平均海面为基准确定的大地水准面，对于局部地区采用这个高程基准会有困难。这时，我们假定一个水准面作为高程起算面，地面点到假定水准面的铅垂距离称为该点的相对高程，用 H' 表示。如图 1-4 所示，地面点 A, B 的相对高程分别为 H'_A, H'_B 。

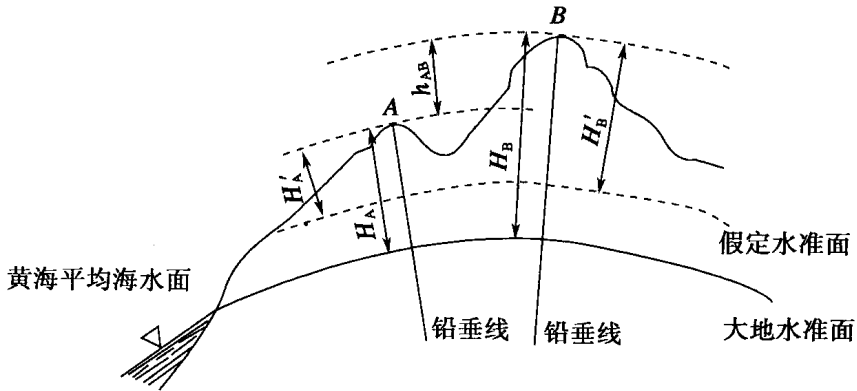


图 1-4 地面点的高程

(3) 高差

高差是指地面上两点之间的高程差，用 h 表示。高差有方向和正负之分。

如图 1-4 所示，A, B 两点的高差为 h_{AB} ：

$$h_{AB} = H_B - H_A = H'_B - H'_A \quad (1-2)$$

当 h_{AB} 为正时，B 点高于 A 点；当 h_{AB} 为负时，B 点低于 A 点。

B, A 两点的高差为 h_{BA} ：

$$h_{BA} = H_A - H_B = H'_A - H'_B \quad (1-3)$$

A, B 两点的高差与 B, A 两点的高差绝对值相等，符号相反，即

$$h_{AB} = -h_{BA} \quad (1-4)$$

2) 地面点的坐标

地面点的坐标分为地理坐标、平面直角坐标和高斯平面直角坐标。

(1) 地理坐标——用经度 λ 和纬度 φ 来表示

地理坐标是地面点在地球椭球面上所建立的坐标系中的位置，地面点在球面上的位置常用经度 λ 和纬度 φ 来表示。如图 1-5 所示，NS 为椭球旋转轴，N 表示北极，S 表示南极。通过椭球旋转轴的平面称为子午面，子午面与地球的交线称为子午线。通过英国伦敦原格林尼治天文台的子午面称为起始子午面。图 1-5 中，P 点的经度就是通过该点的子午面与起始子午面的夹角，用 λ 表示。从起始子午面算起，向东 $0^\circ \sim$

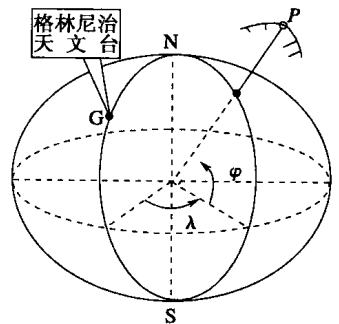


图 1-5 地面点的地理坐标

180°称为东经,向西 0°~180°称为西经。通过地心且垂直于地轴的平面称为赤道面。图1-5中, P 点的纬度就是过 P 点的铅垂线与赤道面的夹角,用 φ 表示。由赤道向北 0°~90°称为北纬,向南 0°~90°称为南纬。

我国位于地球的东半球和北半球,所以各地的地理坐标都是东经和北纬,例如北京的地理坐标为东经 116°28',北纬 39°54'。

(2) 独立平面直角坐标——用坐标 (x, y) 来表示

在小地区的工程测量中,可将这个小区域(一般半径不大于 10 km 的范围内)的水准面近似看作水平面,并在该面上建立独立平面直角坐标系,用平面直角坐标来表示地面点大地水准面的投影位置的平面位置。

在独立平面直角坐标系中,规定南北方向为纵坐标轴,记作 x 轴, x 轴向北为正,向南为负;以东西方向为横坐标轴,记作 y 轴, y 轴向东为正,向西为负;坐标原点 O 一般选在测区的西南角,使测区内各点的 x, y 坐标均为正值;坐标象限按顺时针方向编号(如图1-6所示),其目的是便于将数学中的公式直接应用到测量计算中,而不需作任何变更。

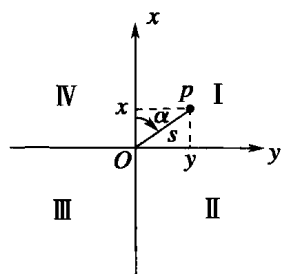


图 1-6 独立平面直角坐标

当测区范围较大,若将曲面当作平面来看待,则把地球椭球面上的图形展绘到平面上来必然产生变形。为减小变形,必须采用适当的方法来解决。测量上常采用的方法是高斯投影方法。高斯平面直角坐标系可将球面上的图形用平面表示出来,使测量计算和绘图变得容易。

高斯投影方法是將地球划分成若干带(见图1-7),然后将每带投影到平面上,具体步骤如下。

第一步,高斯分带,即将地球每隔 3°或者 6°分成若干带,见图1-8所示。

6°带的划分:为限制高斯投影离中央子午线越远长度变形越大的缺点,从经度 0°开始,将整个地球分成 60 个带,6°为一带。带号从首子午线起自西向东编,0°~6°为第 1 号带,6°~12°为第 2 号带,……。位于各带中央的子午线,称为中央子午线。第 1 号带中央子午线的经度为 3°,任意号带中央子午线的经度 λ_0 可按式(1-5)计算:

$$\lambda_0 = 6^\circ N - 3^\circ \quad (1-5)$$

式中: N ——6°带的带号。

3°带的划分:从东经 1°30'开始将整个地球分成 120 个带,3°为一带。带号从首子午线起自西向东编,1°30'~4°30'为第 1 号带,4°30'~7°30'为第 2 号带,……。位于各带中央的子午线,称为中央子午线。第 1 号带中央子午线的经度为 3°,任意号带中央子午线的经度 λ_0 可按式(1-6)计算:

$$\lambda_0 = 3^\circ N \quad (1-6)$$

式中: N ——3°带的带号。

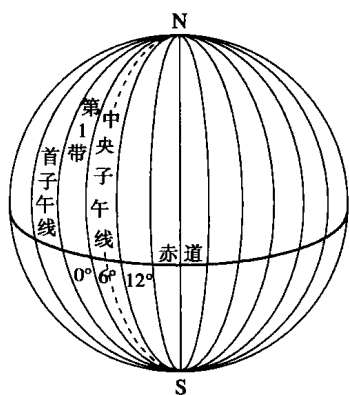


图 1-7 高斯投影分带示意图

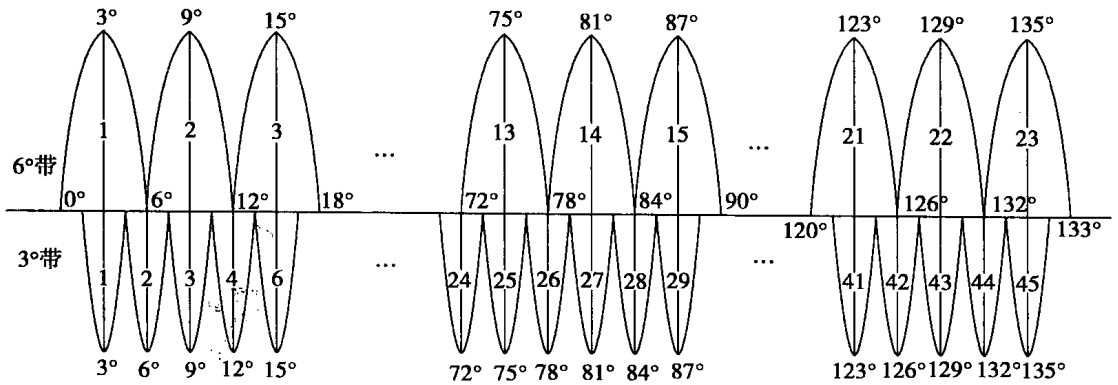


图 1-8 6°带、3°带中央子午线及带号

第二步, 高斯投影, 即整带投影至圆柱面上, 然后展开得到高斯投影平面。

我们把地球看作圆球, 并设想把投影面卷成圆柱面套在地球上(如图 1-9 所示), 使圆柱的轴心通过圆球的中心, 并与某 6°带的中央子午线相切。将该 6°带上的图形投影到圆柱面上, 然后将圆柱面沿过南、北极的母线 KK' , LL' 剪开, 并展开成平面, 这个平面称为高斯投影平面。中央子午线和赤道的投影是两条互相垂直的直线。

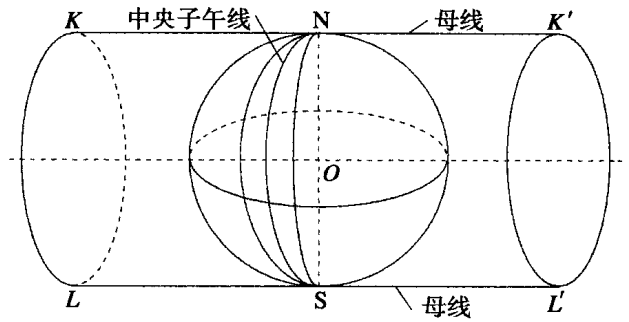


图 1-9 高斯平面直角坐标的投影

第三步, 建立高斯平面直角坐标。

在高斯投影平面上以赤道为 y 轴, 自西向东为正, 以中央子午线为 x 轴, 自南向北为正, 两坐标轴的交点为坐标原点 O , 由此可以建立高斯平面直角坐标系(如图 1-10(a)所示)。地面点的平面位置, 就可用高斯平面直角坐标 x, y 来表示了。由于我国位于北半球, x 坐标均为正值, y 坐标则有正有负, 为了避免 y 坐标出现负值, 将每带的坐标原点向左(西)移 500 km(如图 1-10(b)所示), 这样就可以得到 y 坐标之前加上带号的高斯平面直角坐标系。

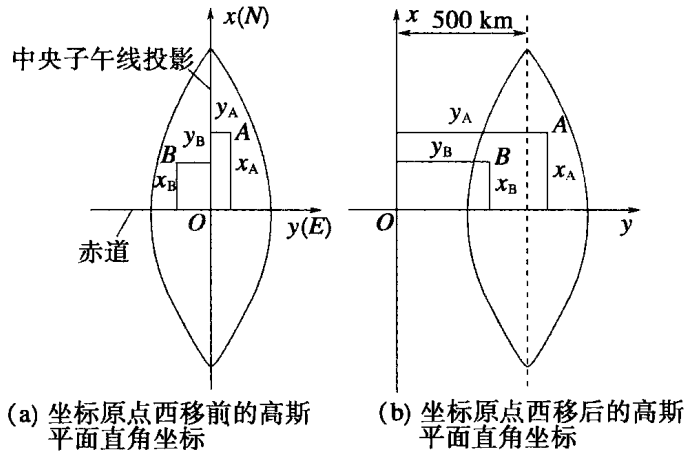


图 1-10 高斯平面直角坐标

我国高斯平面直角坐标的表示方法是先将自然值的横坐标 y 加上 500 000 m, 再在新的横坐标 y 之前标以两位数的带号。例如国家高斯平面点 $P(4\ 042\ 384, 21\ 548\ 237)$, 表示 P 点位于第 21 个 6° 带上, 点 P 至赤道的距离为 $x=4\ 042\ 384$ m, 距中央子午线的距离为 $y=548\ 237-500\ 000=48\ 237$ m。结果为正, 表示该点在中央子午线东侧; 若结果为负, 表示该点在中央子午线西侧。

1.2.3 用水平面代替水准面的限度

当测区范围较小时, 可以把水准面看作水平面。下面探讨用水平面代替水准面对距离、角度和高差的影响, 以便给出限制水平面代替水准面的限度。

1) 对距离的影响

如图 1-11 所示, 地面上 A, B 两点在大地水准面上的投影点是 a, b , 用过 a 点的水平面代替大地水准面, 则 B 点在水平面上的投影为 b' 。设 ab 的弧长为 D , ab' 的长度为 D' , 球面半径为 R , D 所对圆心角为 θ , 则以水平长度 D' 代替弧长 D 所产生的误差 ΔD 为

$$\Delta D = D' - D = R \tan \theta - R\theta = R(\tan \theta - \theta) \quad (1-7)$$

将 $\tan \theta$ 用级数展开为

$$\tan \theta = \theta + \frac{1}{3}\theta^3 + \frac{5}{12}\theta^5 + \dots$$

因为 θ 角很小, 所以只取前两项代入式(1-7), 得

$$\Delta D = R\left(\theta + \frac{1}{3}\theta^3 - \theta\right) = \frac{1}{3}R\theta^3 \quad (1-8)$$

又因 $\theta = \frac{D}{R}$, 代入上式得到

$$\Delta D = \frac{D^3}{3R^2} \quad (1-9)$$

则有

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

取地球半径 $R=6\ 371$ km, 并以不同的距离 D 值代入式(1-9)和式(1-10), 则可求出距离误差 ΔD 和相对误差 $\Delta D/D$, 如表 1-1 所示。

表 1-1 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 $\Delta D(D)$	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	50	1 026	1 : 49 000
20	128	1 : 200 000	100	8 212	1 : 12 000

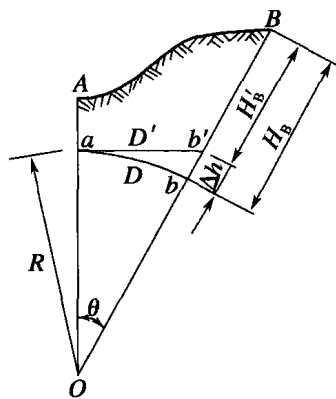


图 1-11 用水平面代替水准面对距离和高程的影响

当两点相距 10 km 时,用水平面代替大地水准面产生的误差为 8 mm,相对误差为 1 : 1 220 000,相当于精密测距精度的 1/1 000 000。所以在半径为 10 km 的范围内,进行距离测量时,可以用水平面代替水准面,而不必考虑地球曲率对距离的影响。

2) 对水平角的影响

从球面三角学可知,同一空间多边形在球面上投影的各内角和比在平面上投影的各内角和大一个球面角超值 ϵ :

$$\epsilon = \rho \frac{P}{R^2} \quad (1-11)$$

式中: ϵ ——球面角超值(″);

P ——球面多边形的面积(km²);

R ——地球半径(km);

ρ ——1 弧度的秒值, $\rho=206\,265''$ 。

以不同的面积 P 代入式(1-11),可求出球面角超值,如表 1-2 所示。

表 1-2 水平面代替水准面的水平角误差

球面多边形面积 $P(\text{km}^2)$	球面角超值 $\epsilon(″)$	球面多边形面积 $P(\text{km}^2)$	球面角超值 $\epsilon(″)$
10	0.05	100	0.51
50	0.25	300	1.52

当面积 P 为 100 km²,进行水平角测量时产生的球面超值 ϵ 为 0.51″,所以在 100 km² 的面积内,可以用水平面代替水准面,而不必考虑地球曲率对距离的影响。

3) 对高程的影响

如图 1-11 所示,地面点 B 的绝对高程为 H_B ,用水平面代替水准面后, B 点的高程为 H'_B , H_B 与 H'_B 的差值即为水平面代替水准面产生的高程误差,用 Δh 表示,则

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

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

D 与 D' 相差很少,可以用 D 代替 D' ; Δh 相对于 $2R$ 很小,可略去不计。则

$$\Delta h = \frac{D^2}{2R} \quad (1-12)$$

以不同的距离 D 值代入式(1-12),可求出相应的高程误差 Δh ,如表 1-3 所示。

表 1-3 水平面代替水准面的高程误差

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	314	1 962	7 848

可见,用水平面代替水准面,对高程的影响是很大的。因此,在进行高程测量时,即使距离很短,也应顾及地球曲率对高程的影响。