



普通高等教育土建类规划教材

工程测量学

● 主编 王颖 周启朋



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

免费电子课件

普通高等教育土建类规划教材

工程测量学

主 编	王 颖	周启朋
副主编	王慧颖	许珊珊
参 编	李秋实	孟 炜
主 审	王 斌	

机械工业出版社

本书依据土木工程专业高级应用型人才的培养方案和目标而编写，重点介绍基本理论、基本知识、基本技能。

第1~8章主要介绍测量学基础知识；第9~14章主要介绍土木工程各专业各工程方向的应用测量技术；第15章主要介绍现代测绘技术GNSS的原理及应用。

本书可作为土木工程、道路与桥梁工程、岩土与地下工程方向、工程管理专业教材，也可作为土木工程技术人员的参考书。

本书配有电子课件，免费提供给选用本书的授课教师，需要者请登录机械工业出版社教育服务网注册下载，网址：www.cmpedu.com。

图书在版编目（CIP）数据

工程测量学/王颖，周启朋主编. —北京：机械工业出版社，2014.3

普通高等教育土建类规划教材

ISBN 978-7-111-45701-5

I. ①工… II. ①王…②周… 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（2014）第023516号

机械工业出版社（北京市百万庄大街22号 邮政编码100037）

策划编辑：刘涛 责任编辑：刘涛 林辉 马军平

版式设计：霍永明 责任校对：杜雨霏

封面设计：张静 责任印制：乔宇

北京机工印刷厂印刷（三河市南杨庄国丰装订厂装订）

2014年5月第1版第1次印刷

184mm×260mm·17.75印张·434千字

标准书号：ISBN 978-7-111-45701-5

定价：36.00元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心：(010) 88361066 教材网：<http://www.cmpedu.com>

销售一部：(010) 68326294 机工官网：<http://www.cmpbook.com>

销售二部：(010) 88379649 机工官博：<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线：(010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

前 言

本书依据土木工程专业高级应用型人才的培养方案和目标而编写，重点介绍基本理论、基本知识、基本技能；着重论述新技术、新方法、新设备、新内容、新规范，以拓宽知识面、增强适应性。本书由浅入深、循序渐进地介绍测量学的系列知识，第1~8章主要介绍土木工程各专业方向通用的测量学基础知识；第9~14章主要介绍土木专业各工程方向的应用测量技术；第15章主要介绍现代测绘技术GNSS的原理及应用。

本书由王颖、周启朋任主编，王慧颖、许珊珊任副主编，李秋实、孟炜参编。第1、11、13章由王颖（黑龙江工程学院）编写，第2、8章由周启朋（黑龙江大学）编写，第3、9、12章由许珊珊（黑龙江科技大学）编写，第4、14章由李秋实（东北林业大学）编写，第10章由孟炜（哈尔滨铁道职业技术学院）编写，第5、6、7、15章由王慧颖（黑龙江工程学院）编写。

北京交通大学王斌副教授对本书进行了全面仔细的审核，并提出了许多宝贵的意见和建议，在此表示诚挚的感谢！书中不当之处，恳请读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第一篇 测量基本理论与方法

第1章 绪论	1
本章重点	1
1.1 测量学简介	1
1.2 地球的形状和大小	3
1.3 测量坐标系地面点位的确定	4
1.4 地球曲率对测量工作的影响	9
1.5 测量工作概述	10
1.6 测量常用计量单位与换算	11
思考题与习题	12
第2章 水准测量	13
本章重点	13
2.1 水准测量原理	13
2.2 水准测量的仪器及工具	14
2.3 水准测量的实施及成果处理	18
2.4 微倾式水准仪的检验和校正	22
2.5 水准测量的误差分析	25
2.6 三、四等水准测量	27
2.7 其他类型水准仪	29
思考题与习题	31
第3章 角度测量	33
本章重点	33
3.1 角度测量原理	33
3.2 光学经纬仪的结构及其技术操作	34
3.3 水平角测量方法	38
3.4 竖直角测量方法	42
3.5 经纬仪的检验与校正	44
3.6 水平角测量的误差分析	47
3.7 电子经纬仪介绍	49
思考题与习题	51
第4章 距离测量与直线定向	52
本章重点	52
4.1 钢尺量距	52
4.2 视距测量	59
4.3 电磁波测距	62

4.4 直线定向	67
4.5 陀螺经纬仪的定位原理	72
思考题与习题	73
第5章 测量误差的基本理论	74
本章重点	74
5.1 测量误差与精度	74
5.2 等精度观测的最可靠值及其中误差	80
5.3 误差传播定律及其应用	82
5.4 非等精度直接观测量的最可靠值及其中误差	86
思考题与习题	87
第6章 全站仪与全站测量	88
本章重点	88
6.1 概述	88
6.2 全站仪的使用	88
6.3 全站仪测量	96
思考题与习题	104
第7章 控制测量	105
本章重点	105
7.1 概述	105
7.2 导线测量	110
7.3 小三角测量	117
7.4 交会定点	118
7.5 三角高程测量	122
思考题与习题	123
第8章 地形测量及地形图的应用	125
本章重点	125
8.1 地形图的基本知识	125
8.2 大比例尺地形图测绘	132
8.3 数字测图的基本知识	137
8.4 地形图的识读	140
8.5 地形图的基本应用	142
8.6 地形图在工程规划中的应用	144
思考题与习题	147

第二篇 工程测量与应用

第9章 工程测设的基本工作	149
本章重点	149
9.1 概述	149
9.2 测设的基本工作	150
9.3 地面点平面位置的测设	152
9.4 已知坡度直线的测设	154
思考题与习题	154

第 10 章 建筑工程施工测量	156
本章重点	156
10.1 建筑施工控制测量	156
10.2 民用建筑施工测量	160
10.3 工业建筑施工测量	170
10.4 变形测量	179
思考题与习题	189
第 11 章 道路工程测量	190
本章重点	190
11.1 道路中线测量	190
11.2 道路纵、横断面测量	213
11.3 道路施工测量	222
思考题与习题	226
第 12 章 桥梁施工测量	228
本章重点	228
12.1 桥梁施工控制网	228
12.2 桥梁墩、台中心定位	229
12.3 桥梁墩、台纵横轴线测设	230
12.4 墩、台施工放样	231
思考题与习题	232
第 13 章 公路隧道施工测量	233
本章重点	233
13.1 概述	233
13.2 地面控制测量	234
13.3 隧道洞内测量	241
13.4 竖井联系测量	246
13.5 隧道贯通的测量工作	248
思考题与习题	250
第 14 章 管道施工测量	251
本章重点	251
14.1 管道工程测量概述	251
14.2 管道中线测量及纵横断面测量	252
14.3 管道施工测量工作内容	258
14.4 顶管施工测量	263
14.5 管道竣工测量	266
思考题与习题	266
第 15 章 GNSS 测量	267
本章重点	267
15.1 概述	267
15.2 GPS 测量	268
思考题与习题	275
参考文献	276

第一篇 测量基本理论与方法

第 1 章

绪 论

本章重点

1. 测量学的基本任务、基本原则、基本工作。
2. 确定地面点位的方法。
3. 测量坐标系的特点。
4. 高程的基本概念。

1.1 测量学简介

测量学是研究整个地球及其表面上局部地区的形状和大小，确定地表物体的大小、形状和空间位置的一门应用科学。测量学将地表物体分为地物和地貌。地物是地面上天然形成或人工建造的物体，它包括湖泊、河流、海洋、房屋、道路、桥梁等。地貌是地表高低起伏的形态，它包括山地、丘陵和平原等。地物和地貌的总称为地形。

1.1.1 测量学的任务

普通测量学的任务是对地形的测定和测设。测定是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，或在图纸上按照一定的比例尺和规定的符号缩绘成地形图、断面图等，供科学研究、经济建设和国防建设规划设计使用。测设是把图样上规划设计好的建筑物轴线和特征点的位置，在地面上标定出来，作为施工的依据。

根据研究对象和应用范围的不同，可将测量学分为以下六类：

(1) 大地测量学 它是研究较大的区域甚至整个地球的形状和大小，建立国家大地控制网和研究地球重力场的理论、技术和方法（在计算与绘图中要考虑地球的曲率）。大地测量学又可分为几何大地测量学、卫星大地测量学及物理大地测量学。

(2) 普通测量学 它的研究对象是小区域地球表面的形状和大小。在测量时，不考虑地球曲率的影响，直接用平面代替地球曲面。普通测量学可根据需要测绘各种比例尺的地形图，是测量学的基础。

(3) 摄影测量学 它是利用摄影相片来研究地球表面的形状和大小的测绘科学。根据

摄影手法的不同,可将其分为地面摄影测量学、水下摄影测量学和航空摄影测量学。

(4) 工程测量学 它是研究工程建设中所进行的规划、设计、施工、管理各阶段的测量工作。根据研究对象的不同,可将其分为公路工程测量、建筑工程测量、矿山测量和水利工程测量。

(5) 海洋测量学 它是以研究海洋和陆地水域为对象所进行的测量和海图测绘的理论和方法,属于海洋测绘学的范畴。

(6) 制图学 它是研究将地球表面的点、线经过投影变换后绘制成满足各种不同要求的地图、海图,利用测量所得的成果资料编绘各种地图的理论和方法。

1.1.2 测量学的应用

在工程建设中,测量工作起着十分重要的作用,如果没有测量工作为工程建设提供图样和数据,并及时与之配合和指导,任何工程建设都将无法实施。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。随着社会的发展和科学技术的进步,测量学也分支了若干学科,分支学科之间既相对独立又存在着必然联系。测量学对国民经济建设、国防建设、科学研究等有着重要作用。在经济建设方面,如地质勘探、农田水利基本建设、城市规划、工业与民用建筑的建造、公路与铁路设计与施工、桥梁的架设等工程都离不开测量工作;在国防建设中,战略的部署、战役的指挥和各种国防工程建设等,都是以测量工作所获得的各种图面资料和测量数据为依据;另外,在地震预测,灾情监视和科学考察等方面也都离不开测量工作。

测量学贯穿着整个工程建设的始末,在工程建设各阶段都发挥着重要作用,分述如下:

(1) 规划设计阶段 此阶段需要对设计的工程进行经济调查和技术调查,收集设计所需技术经济资料,应用地形图及实地勘测数据进行综合设计、建筑物单项设计,并提出工程的概预算等。在此阶段要先后完成方案研究、初测与初步设计、定测与施工设计等工作。

(2) 施工建设阶段 在此阶段的测量工作是按照设计的要求,将图上设计好的建筑物、构筑物标定于地面,用以指导施工,其主要任务是保证各种建筑物能够按照设计位置正确修建。

1) 施工前,设计单位应向施工单位进行设计交桩(与施工有关的初测资料和定测资料),并现场指认测量控制点。施工单位接收后,应立即对其进行复测,对复测合格的成果予以确认,不合格的成果,应仔细研究并会同设计人员共同解决。

2) 施工中,进行施工放样。根据施工测量控制点并结合施工场地的地形情况,将图样上设计的线路和各种建筑物按设计要求标定于地面。施工放样是一项经常性的工作,贯穿于整个施工过程。

3) 工程竣工后,要进行竣工测量,并编制竣工文件。竣工测量是对工程进行全面的测量,以检查其平面位置、高程位置及结构外形尺寸与设计相符的程度,其结果将成为竣工验收的依据。

(3) 运营管理阶段 随着时间的推移,在各种因素的影响下,房屋、公路、桥梁、隧道等工程建筑(构)物可能会产生变形,如位移、沉陷和倾斜等。因此,在工程建筑物的运营期间,对其进行变形观测是十分必要的。

工程测量学是土木工程专业非常重要的专业基础课,其综合性极强,在学习过程中,要求学生做到:在掌握基本理论及其分析方法的基础上,具备熟练操作各种测量仪器的技能;

掌握大比例尺地形图测图原理和方法；对数字测图过程有所了解；在工程规划、设计、施工中能正确应用地形图和测量信息；熟悉处理测量数据和评定测量结果精度的方法。

1.2 地球的形状和大小

测量学研究的对象是地球表面。所以，我们首先应该对地球的形状和大小有所了解。地球自西向东自转，同时又围绕太阳公转。地球自转与公转运动的结合使其产生了地球上的昼夜交替和四季变化（地球自转和公转的速度是不均匀的）。同时，由于受到太阳、月球和附近行星的引力作用以及地球大气、海洋和地球内部物质等各种因素的影响，地球自转轴在空间和地球本体内的方向都要产生变化。地球自转产生的惯性离心力使得地球由两极向赤道逐渐膨胀，成为目前的略扁的旋转椭球体，极半径约比赤道半径短 21km，地球的平均半径为 6371km。地球自然表面不规则，有高山、丘陵、平原和海洋，其中最高的珠穆朗玛峰高出海面达 8844.43m（2005 年国家测绘局公布），最低的马里亚纳海沟低于海面达 10923m（2012 年我国“蛟龙号”测），但这样的高低起伏，相对于地球半径来说还是很小的。地球表面 71% 的面积是海洋，其余 29% 的面积是陆地，因此，人们把海水面所包围的地球形状看作地球的形状。

地球上任一点都受到地球自转引起的惯性离心力和地球引力的双重作用，这两个力的合力称为重力，重力的方向线称为铅垂线。铅垂线是测量工作的基准线。静止的水面称为水准面，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，并且是一个重力场的等位面。与水准面相切的平面称为水平面。水面可高可低，因此符合上述特点的水准面有无数多个，其中与平均海水面吻合并向陆地、岛屿内延伸而形成的闭合曲面，称为大地水准面，如图 1-1 所示。大地水准面是测量工作的基准面。由大地水准面所包围的地球形体，称为大地体。

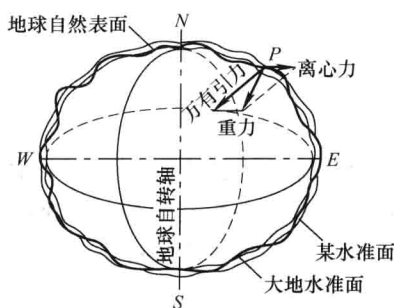


图 1-1 大地水准面

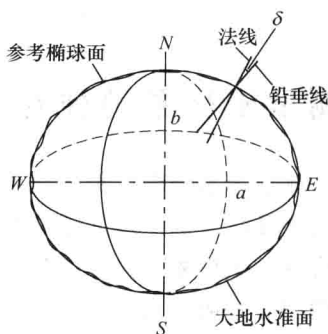


图 1-2 参考椭球体

用大地体表示地球形体是恰当的，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表面稍有起伏的复杂曲面，对这个面上的测量数据进行处理非常困难。为了使用方便，通常用一个接近大地水准面，并可用数学式表示的几何形体（即参考椭球体）来代替地球的形状，作为测量计算的基准面。参考椭球体是一个围绕其短轴旋转而成的形体，故又被称为旋转椭球，如图 1-2 所示，参考椭球体由长半

径 a (或短半径 b) 和扁率 f ($f = \frac{a-b}{a}$) 所决定。我国目前采用的元素值为: 长半径 $a = 6378137\text{m}$, 短半径 $b = 6356752.298\text{m}$, 扁率 $f = 1/298.257$ 。

根据一定的条件, 确定参考椭球体与大地水准面的相对位置所做的测量工作, 称为参考椭球体的定位。参考椭球体的定位方法如图 1-3 所示, 在适当地面上选定一点 P (P 点称为大地原点), 令 P 点的铅垂线与椭球面上相应 P' 点的法线重合, 并使该点的椭球面与大地水准面相切, 在定位时应注意使本国范围内的椭球面与大地水准面尽量接近。

这里 P 点称为大地原点。我国的大地原点位于陕西省泾阳县永乐镇石际寺村境内, 南距西安市区约 36km , 具体位置为北纬 $34^\circ 32' 27.00''$, 东经 $108^\circ 55' 25.00''$ 。中华人民共和国大地原点是我国大地坐标系的基准点。科研人员利用大地原点进行了精密天文测量和精密水准测量, 获得了大地原点的平面起算数据, 使其在我国经济建设、国防建设和社会发展等方面发挥着重要作用。中华人民共和国大地原点标志如图 1-4 所示。

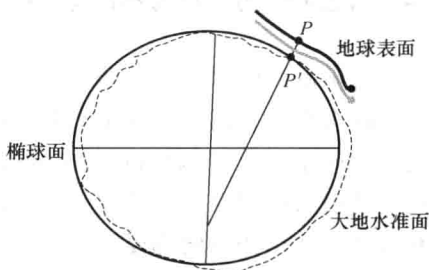


图 1-3 参考椭球体的定位

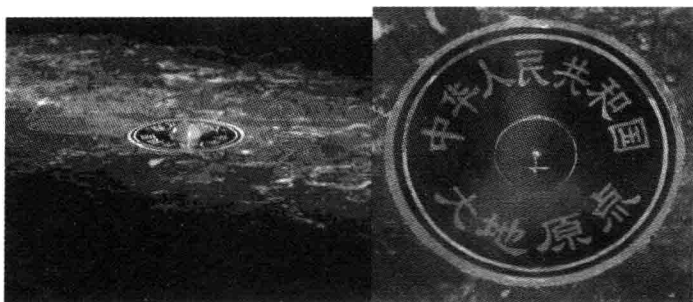


图 1-4 中华人民共和国大地原点标志

1.3 测量坐标系地面点位的确定

无论是测定还是测设, 都需要确定地面点的空间位置, 即需要确定地面点在三维空间坐标系中的三个参数。确定地面点位的实质就是确定其在某个空间坐标系中的三维坐标。工程测量中, 将空间坐标系分为参心坐标系和地心坐标系。“参心”是指参考椭球的中心, 由于参考椭球的中心一般与地球质心不重合, 所以它属于非地心坐标系。参心坐标系的坐标原点设在参考椭球的中心。我国建立的 1954 年北京坐标系和 1980 年国家大地坐标系, 都属于参心坐标系。地心坐标系的坐标原点设在地球的质心。我国的 2000 国家大地坐标系和 GPS 所采用的 WGS-84 坐标系都属于地心坐标系。为简化计算, 工程测量通常采用参心坐标系。

1.3.1 确定球面点位的坐标系

1. 地理坐标系

在大区域内, 通常采用由经度、纬度所组成的球面坐标系统表示地面点在球面上的位

置,该系统称为地理坐标系,适用于在地球椭球面上确定点位。地理坐标根据采用的基准面、基准线及测量计算坐标方法的不同可分为天文地理坐标和大地地理坐标两种。

(1) 天文地理坐标 它表示地面点在大地水准面上的位置,是通过天文测量直接测定的。天文地理坐标的参量是大地水准面和铅垂线,用天文经度 λ 和天文纬度 φ 表示。

如图 1-5 所示,地面点 P 所在的天文子午面与首子午面(英国格林尼治天文台所在的首子午面)所夹的二面角为经度 λ ,取值范围是 $0^\circ \sim 180^\circ$,从首子午面起,东经向东为正,西经向西为负。过该地面点 P 的铅垂线与赤道的夹角为纬度 φ ,取值范围为 $0^\circ \sim 90^\circ$,从赤道面算起,北纬向北为正,南纬向南为负。点 P 的天文地理坐标表示为 (λ, φ) ,如图 1-5a 所示。

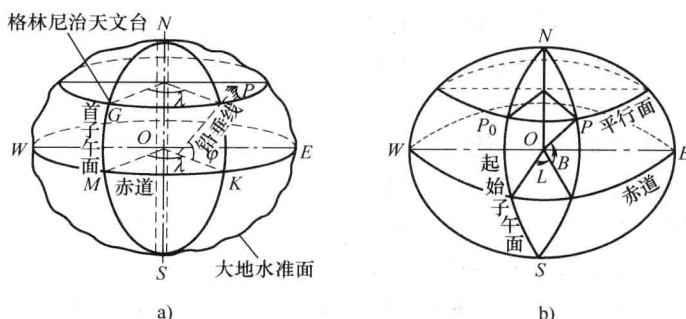


图 1-5 地理坐标系

(2) 大地地理坐标 它是表示地面点在参考椭球体上的位置,根据大地测量所得的数据推算而得的,其依据是参考椭球面和法线,用大地经度 L 和大地纬度 B 表示。地面点 P 所在的子午面与起始子午面所夹的二面角为经度 L ,过该地面点 P 的法线(与旋转椭球面相垂直的线)与赤道的夹角为纬度 B 。点 P 的大地地理坐标为 (L, B) ,如图 1-5b 所示。

大地原点的天文地理坐标与大地地理坐标相同。地面上其他点的大地坐标按大地原点坐标推算,由此建立的大地坐标系,称为“1980 西安坐标系”,简称“80 西安系”。另外,我国曾使用的“1954 北京坐标系”,简称“54 北京系”,是通过前苏联 1942 年普尔科沃坐标系联测,经过我国东北传算过来的坐标,其大地原点位于前苏联列宁格勒天文台中央。2000 国家大地坐标系,是我国当前最新的国家大地坐标系,英文名称为 China Geodetic Coordinate System 2000,英文缩写为 CGCS2000。2000 国家大地坐标系是全球地心坐标系在我国的具体体现,其原点为包括海洋和大气的整个地球的质量中心。 z 轴指向 BIH1984.0 定义的协议极地方向(BIH 国际时间局), x 轴指向 BIH1984.0 定义为零子午面与协议赤道的交点, y 轴按右手坐标系确定。

2. 空间直角坐标系

以椭球体中心为原点,起始子午面与赤道面交线为 x 轴,赤道面上与 x 轴正交的方向为 y 轴,椭球体的旋转轴为 z 轴,指向符合右手法则见图 1-6。

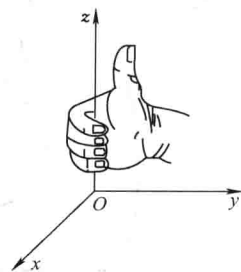


图 1-6 右手法则示意图

1.3.2 平面直角坐标系

1. 独立平面直角坐标系

独立平面直角坐标系适用于测区范围较小（面积小于 100km^2 ），可将测区曲面当做平面看待。测量工作中采用的平面直角坐标规定：南北方向为纵轴 x ，向北为正；以东西方向为横轴 y ，向东方向为正。可以依据工作的方便性来假设原点坐标，原点一般选在测区的西南角，使测区内各点的坐标均为正值，象限按顺时针方向编号，测量学坐标与数学坐标的区别如图 1-7 所示。

2. 高斯平面直角坐标系

在大地测量工作中，应考虑地球曲率对测量数据的影响，如在赤道上 $1''$ 的经度差或纬度差对应的地面距离约为 30m 。但对局部测量工作来说地理坐标的计算是非常不方便的，为了方便工程的规划、设计与施工，采用一定的投影方法将曲面问题转化为平面问题，使得测量计算和绘图更加方便。我国采用高斯投影（高

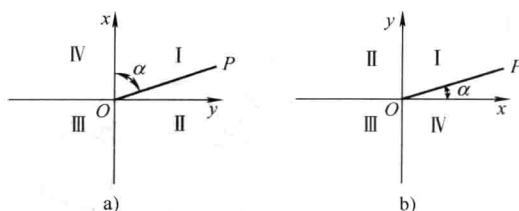


图 1-7 测量学坐标与数学坐标

a) 测量学坐标 b) 数学坐标

斯-克吕格投影，即横切椭圆柱投影）所建立的坐标系，即为高斯平面直角坐标系。它是由德国数学家高斯在 1820—1830 年，为解决德国汉诺威地区大地测量投影问题而提出的，后来由德国学者克吕格自 1912 年起加以整理、改进的一种分带投影方法。高斯投影的实质是椭球面上微小区域的图形投影到平面上后仍然与原图形相似，即不改变原图形的形状。

(1) 投影原理 如图 1-8 所示把地球看作一个椭球，设想把一个平面卷成一个横圆柱，把它套在椭球外面，使横圆柱的中心轴线通过椭球的中心，把椭球面上一根子午线与横圆柱相切，即这条子午线与横圆柱重合。以此子午线为中心将其左右一定带宽范围内的球面用正形投影（高斯投影）的方法投影至圆柱面上。

中央子午线和赤道面投影至横圆柱面上都是一条直线，且互相垂直，它们构成了平面直角坐标系的纵横轴，即 x 轴和 y 轴，因此经过这种投影后，其坐标既是平面直角坐标，又与大地坐标的经纬度发生联系，对大范围的测量工作也就适用了。

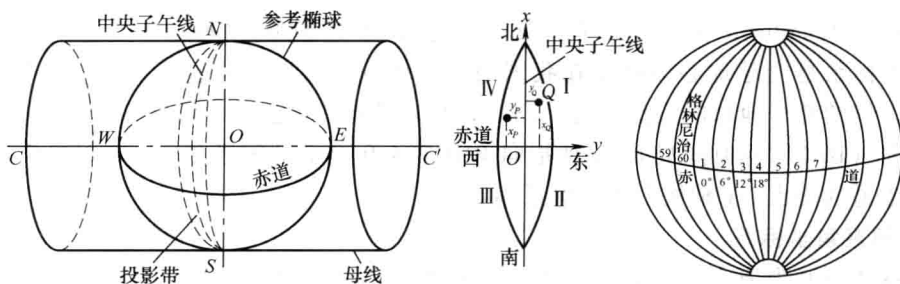


图 1-8 高斯平面坐标系投影原理图

(2) 高斯投影坐标分带方法 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，将地球按经线划分为带，称为投影带。投影是从首子午线开始的，国际上有 6° 带和 3° 带两种方法。

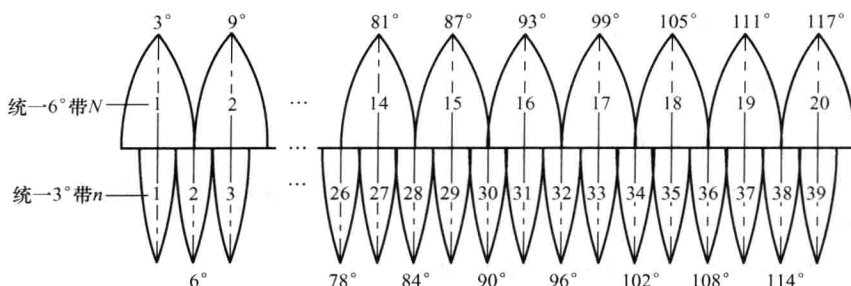


图 1-9 6°带和 3°带投影高斯平面坐标系关系图

1) 6°带投影。从经度 0° 开始, 将整个地球分成 60 个带, 由首子午线起自西向东每隔经差 6° 为一带。如图 1-9 所示, 带号从首子午线开始, 用阿拉伯数字表示。第一个带的中央子午线经度为 3°, 任意带的中央子午线经度 L_0 与投影带号 N 的关系为

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

反之, 已知地面上任意一点的经度 L , 要计算该点所在的 6° 带带号的公式为

$$N = \text{INT}\left(\frac{L+3}{6} + 0.5\right) = \text{INT}\left(\frac{L}{6} + 1\right) \quad (1-2)$$

式中 INT——取整函数。

【例 1-1】北京中心的经度为 $116^\circ 24'$, 求其所在高斯投影 6° 带的带号 N 及该带的中央子午线经度。

【解】

$$N = \text{INT}(116^\circ 24' / 6 + 1) = 20 \text{ 带}$$

$$L_0 = 6^\circ \times 20 - 3 = 117^\circ$$

因此, 北京中心位于 20 带, 该带中央子午线的经度为 117° 。

2) 3°带投影。从经度 0° 开始, 将整个地球分成 120 个带, 自东经 1.5° 子午线起自西向东每隔经差 3° 为一带。如图 1-9 所示, 带号从首子午线开始, 用阿拉伯数字表示。第一个带的中央子午线经度为 3°, 任意带的中央子午线经度 L'_0 与投影带号 n 的关系为

$$L'_0 = 3n \quad (1-3)$$

反之, 已知地面上任意一点的经度 L , 要计算该点所在的 3° 带带号的公式为

$$n = \text{INT}\left(\frac{L}{3} + 0.5\right) \quad (1-4)$$

3. 国家统一坐标

由于我国位于北半球, 在高斯平面直角坐标系内, x 坐标均为正值, 而 y 坐标有正有负。为避免 y 坐标出现负值时带来计算的繁琐, 我国规定将 x 轴向西平移 500km, 即所有点的 y 坐标均加上 500km, 如图 1-10 所示。此外, 为了便于区别某点位于哪个投影带内, 要求在新的横坐标 Y 前标以 2 位数的带号。这种坐标称为国家统一坐标。

【例 1-2】某点国家投影坐标为 (51000, 20637680), 则其所在的带号为多少? 该点所在坐标系为几度分带方法? 在带号内的自然坐标为多少?

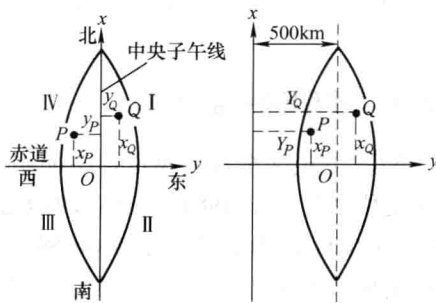


图 1-10 国家统一坐标转换图

【解】 带号为：20 带；分带法为：6°带法；该点自然坐标为：(51000, 137680)。

1.3.3 高程系统

地面点沿铅垂线方向至大地水准面的距离称为该点的绝对高程或海拔，简称高程，通常以 H 表示。地面点沿铅垂线方向至某一假定水准面的距离称为该点的相对高程，也称为假定高程，以 H' 表示。

高程是一维坐标系，它的基准是大地水准面。由于海水受潮汐、风浪等影响，它的高低时刻在变化，故需在海边设立观潮站，进行长期观测，求得海水面的平均高度作为高程零点，以通过该点的水准面作为高程基准面，即大地水准面，其面上的高程恒为零。

我国的绝对高程是以青岛港验潮站历年纪录的黄海平均海面为基准面，1954 年在青岛市内观象山建立水准原点，如图 1-11 所示，并通过水准测量将验潮站确定的高程零点引测到水准原点，求出水准原点的高程。

1956 年我国采用青岛大港一号码头验潮站于 1950—1956 年观测的验潮资料计算确定的大地水准面为基准，引测其高程为 72.289m。该大地水准面为高程基准建立的高程系统，称为“1956 年黄海高程系统”，简称“56 黄海系统”。

20 世纪 80 年代中期，我国再一次应用 1953—1979 年验潮资料，重新计算确定的大地水准面为基准，引测出水准原点的高程为 72.260m。全国布置的国家高程控制点，都是以这个水准原点为基准测算出来的，这就是我国大地法规定的“1985 国家高程基准”，简称为“85 高程基准”。

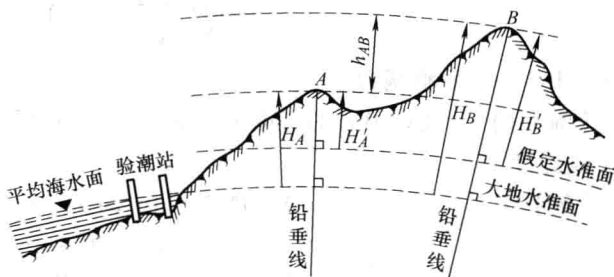


图 1-11 高程与高差相互关系图

地面两点间的绝对高程或相对高程之差称为高差，通常用 h 表示。在图 1-11 中， H_A 、 H_B 为 A、B 点的绝对高程， H'_A 、 H'_B 为相对高程， h_{AB} 为 AB 两点高差，即

$$h_{AB} = H_B - H_A = H'_B - H'_A \quad (1-5)$$

1.3.4 WGS-84 坐标系

WGS 的英文全称是 World Geodetic System (世界大地坐标系)，它是美国国防部为 GPS 导航定位系统，于 1984 年建立的地心坐标系，1985 年开始投入使用。GPS 广播星历是以 WGS-84 坐标系为根据的，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 BIH (国际时间) 1984.0 定义的协议地球极 (CTP) 方向， x 轴指向 BIH1984.0 的零度子午面和 CTP 赤道的交点， y 通过 x 、 y 、 z 符合右手法则，如图 1-12 所示。

WGS-84 地心坐标系与“1954 北京坐标系”或“1980 西安坐标系”等参心坐标系可以相互转换。

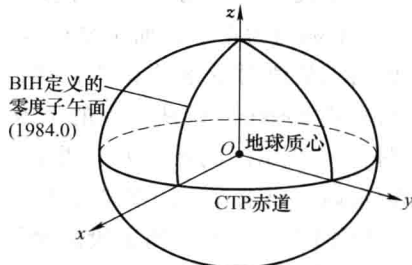


图 1-12 WGS-84 坐标系

1.4 地球曲率对测量工作的影响

当测区较小时可以把投影面看作平面，即用水平面代替水准面，但是这种代替水准面是有一定限度的。

1.4.1 水准面的曲率对水平距离的影响（见图 1-13）

由表 1-1 计算可知，当水平距离为 10km 时，以水平面代替水准面所产生的距离误差为距离的 $1/1217700$ ，现在最精密距离丈量时的允许误差为其长度的百万分之一。因此可得出结论：在半径为 10km 的圆面积内进行长度的测量工作时，可以不必考虑地球曲率；也就是说可以把水准面当做水平面看待，即实际沿圆弧丈量所得距离作为水平距离，其误差可忽略不计。

表 1-1 水准面代替水平面距离误差

距离 D/km	距离误差 $\Delta D/\text{cm}$	距离相对误差 $\Delta D/D/(\times 10^{-4})$
10	0.8	1/120
25	12.8	1/20
50	102.7	1/4.9
100	821.2	1/1.2

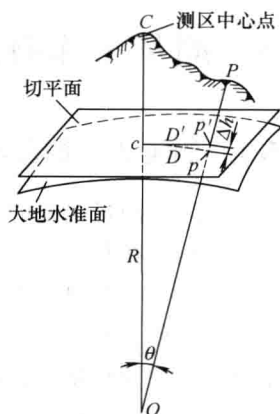


图 1-13 水准面的曲率对水平距离的影响

1.4.2 水准面的曲率 (ρ'') 对水平角度 (ε'') 的影响

球面角

$$\varepsilon'' = \rho'' \frac{P}{R^2} \quad (1-6)$$

式中 P ——球面多边形面积；

R ——地球半径。

测量工作中实测的是球面面积，绘制成图时则绘成平面图形的面积。

表 1-2 所示表明：对于面积在 100km^2 以内的多边形，地球曲率对水平角度的影响只有在最精密的测量中才需要考虑，一般的测量工作是不必考虑的。

表 1-2 水准面的曲率对水平角度的影响

面积 P/km^2	角度误差 ε
10	0.05"
100	0.51"
400	2.03"
2500	12.70"

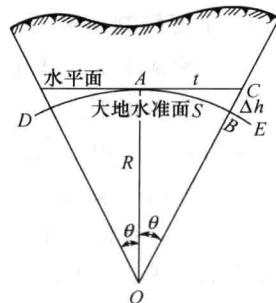


图 1-14 水平面代替水准面对高差的影响

1.4.3 水平面代替水准面对高差的影响

由图 1-14 得知

$$\begin{aligned} (R + \Delta h)^2 &= R^2 + t^2 \\ 2R\Delta h + \Delta h^2 &= t^2 \end{aligned}$$

即

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

因 $S \approx t$, $\Delta h \ll R$, 可忽略不计, 则 $\Delta h = \frac{S^2}{2R}$ 。当 $S = 10\text{km}$ 时, $\Delta h = 7.8\text{m}$; 当 $S = 100\text{m}$ 时, $\Delta h = 0.78\text{mm}$ 。

上述计算表明: 水平面代替水准面的影响对高差而言, 即使在很短的距离内也必须加以考虑。

1.5 测量工作概述

1.5.1 测量工作的基本原则

为了防止测量误差的逐渐传递而累计增大到不能允许的程度, 要求实际测量工作中应遵循以下原则: 在布局上“从整体到局部”, 在精度上“由高级到低级”, 在次序上“先控制后碎部”的测量原则。并且要求步步工作有校核, 在上一步工作未进行校核之前, 不可进行下一步工作。所谓的“控制”即指控制测量, 控制测量是指在测区内选择若干个具有控制作用的点作为控制点, 将这些点连接成各种几何图形构成控制网。在全国范围内建立的控制网, 称为国家控制网。用较严密的方法和较精密的仪器, 测定控制点之间的距离、角度和高差, 并通过计算确定这些点的平面位置和高程, 这种方法称为控制测量。控制测量包括平面控制测量和高程控制测量。平面控制测量和高程控制测量将在第7章控制测量中详细展开, 这里不再赘述。所谓的“碎步”即指碎步测量, 碎步测量是指测定碎部点的平面位置和高程的工作。碎步测量将在第8章经纬仪测图中详细介绍。

1.5.2 测量的基本工作

无论控制测量或碎部测量, 凡在野外进行的测量工作都称为外业; 凡在室内进行的计算和绘图工作则称为内业。

高程测量、水平角测量和距离测量是测量学的基本内容, 测高程、测角、测距是测量的基本工作, 也称为确定地面点位的三要素。观测、计算和绘图是测量工作的基本技能。

1. 平面控制测量

平面控制测量是测定各控制点的平面位置的工作。平面控制测量分为三角测量和导线测量。我国的国家平面控制网是采用逐级控制、分级布设的原则, 分一、二、三、四等方法建立起来的, 主要由三角测量法布设, 在西部困难地区采用导线测量法。

三角测量法是建立平面控制网的基本方法之一。但三角网(锁)要求每点与较多的邻点相互通视, 在隐蔽地区常需建造较高的觇标。一等三角锁沿经线和纬线布设成纵横交叉的三角锁系, 锁长 $200 \sim 250\text{km}$, 构成许多锁环。一等三角锁内由近于等边的三角形组成, 边长为 $20 \sim 30\text{km}$ 。二等三角测量有两种布网形式: 一种是由纵横交叉的两条二等基本锁将一等锁环划分成4个大致相等的部分, 这4个空白部分用二等补充网填充, 称纵横锁系布网方案; 另一种是在一等锁环内布设全面二等三角网, 称全面布网方案。二等基本锁的边长为