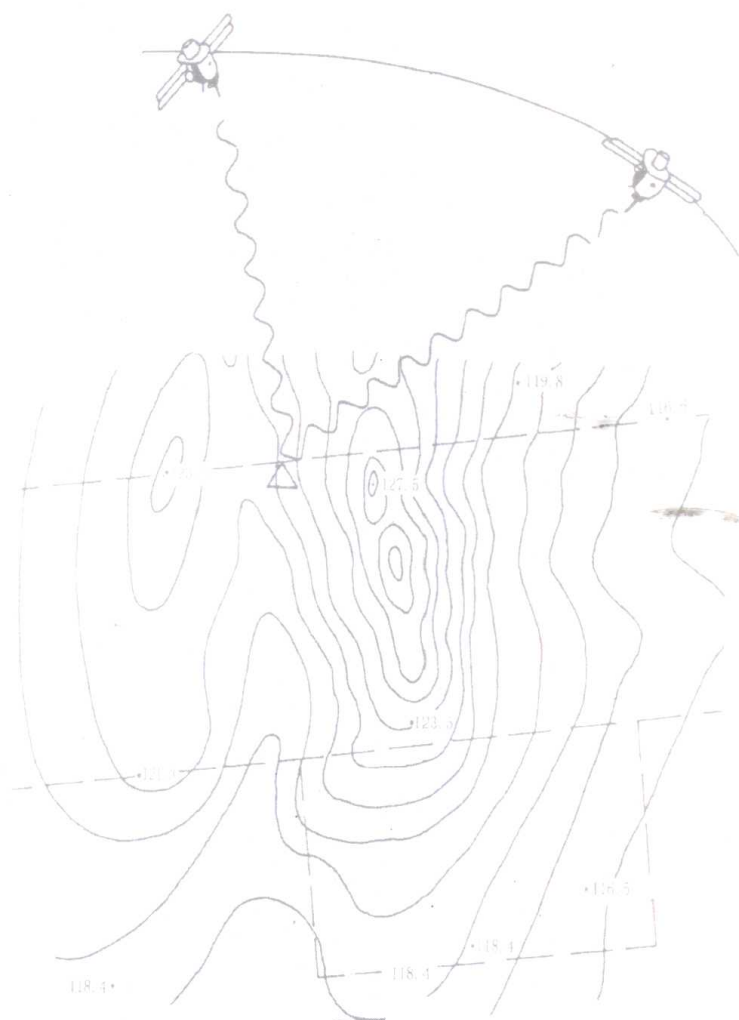


普通高等学校土木工程专业新编系列教材
中国土木工程学会教育工作委员会 审定

土木工程测量

T M G C C L

过静珺 主 编
刘永明 主 审



WUTP

武汉工业大学出版社

普通高等学校土木工程专业新编系列教材
中国土木工程学会教育工作委员会 审定

土木工程测量

主编 过静珺
主审 刘永明

武汉工业大学出版社
· 武 汉 ·

图书在版编目(CIP)数据

土木工程测量/过静珩主编. —武汉:武汉工业大学出版社, 2000. 8

普通高等学校土木工程专业新编系列教材

ISBN 7-5629-1544-X

I. 土… II. 过… III. 土木工程-工程测量-高等学校-教材 IV. TU198

内 容 提 要

本书是普通高等学校土木工程专业新编系列教材之一。全书共 14 章,其中:第 1~5 章为土木工程测量的基本知识,基本测量工作,包括高程测量、角度测量、距离测量,以及测量误差;第 6 章为小地区控制测量;第 7~9 章为地形图的基本知识,大比例尺地形图的测绘方法以及地形图的应用;第 10~12 章为施工测量,包括施工测量的基本工作,工业与民用建筑施工测量,线路测量,隧道及桥梁施工测量;第 13 章为建(构)筑物及深基坑变形观测;第 14 章是对测绘新技术 GPS 全球定位系统的原理及施测作了简要的介绍。

本书可供普通高等学校土木工程类专业作教材,也可供土木工程技术人员参考。

出版者:武汉工业大学出版社(武汉市武昌珞狮路 122 号 邮编:430070)

印刷者:武汉工业大学出版社印刷厂

发行者:各地新华书店

开 本:880×1230 1/16 印张:15 字数:490 千字

版 次:2000 年 8 月第 1 版 2000 年 8 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 7-5629-1544-X/TU·130

印 数:1—10000 册

定 价:22.00 元

(本书如有印装质量问题,请向承印厂调换)

普通高等学校土木工程专业新编系列教材

编 审 委 员 会

顾 问:成文山 滕智明 罗福午 魏明钟 李少甫

甘绍熺 施楚贤 白绍良 彭少民 范令惠

主 任:江见鲸 吕西林 高鸣涵

副主任:朱宏亮 辛克贵 袁海庆 吴培明 李世蓉

苏三庆 刘立新 赵明华 孙成林

委 员:(按姓氏笔画顺序排列)

于书翰 丰定国 毛鹤琴 甘绍熺 白绍良

白晓红 包世华 田道全 成文山 江见鲸

吕西林 刘立新 刘长滨 刘永坚 刘伟庆

朱宏亮 朱彦鹏 孙家齐 孙成林 过静君

李少甫 李世蓉 李必瑜 吴培明 吴炎海

辛克贵 苏三庆 何铭新 汤康民 陈志源

罗福午 周 云 赵明华 赵均海 尚守平

施楚贤 柳炳康 姚甫昌 胡敏良 俞 晓

桂国庆 顾敏煜 徐茂波 袁海庆 高鸣涵

蒋沧如 谢用九 彭少民 覃仁辉 蔡德明

燕柳斌 魏明钟

总责任编辑:刘永坚 田道全

秘 书 长:蔡德明

出版说明

1998年7月,教育部颁布了新的普通高等学校本科专业目录,1999年全国高等学校都已按新的专业目录招生。新的土木工程专业专业面大大拓宽,相应的专业业务培养目标、业务培养要求、主干学科、主要课程、主要实践性教学环节等都有了不同程度的变化。原有的教材已经不能适应新专业的培养目标和教学要求,组织一套新的土木工程专业系列教材成为众多院校的翘首之盼。武汉工业大学出版社在中国土木工程学会教育工作委员会的指导和支持下,经过大量的调研,组织国内29所大学的土木工程学科的教授共同编写了这套系列教材。

本套教材的主、参编人员及编委会顾问遵照1998年1月建设部全国土木建筑工程专业教学指导委员会昆明会议和1998年5月上海的全国土木工程专业系主任会议的精神,经过充分研讨,决定首批编写出版29种主干课程的教材,以尽快满足全国众多院校的教学需要,以后再根据专业方向的需要逐步增补。中国土木工程学会教育工作委员会组织专家审查了本套教材的编写大纲,决定将其作为“中国土木工程学会教育工作委员会审定教材”出版。作为一套全新的系列教材,本套教材的“新”体现在以下几点:

体系新——本套教材从“大土木”的专业要求出发,从整体上考虑专业的课程设置和各门课程的内容安排,按照教学改革方向要求的学时统一协调与整合,组成一套完整的、各门课程有机联系的系列。整套教材的编写除正文外,大多增加了本章提要、本章重点、例题详解、思考题、习题等,以使教材既适合教学需要,又便于学生自学。

内容新——本套教材中各门课程教材的主、参编人员特别注意了教材内容的更新和吸收各校教学改革的阶段性成果,以适应21世纪土木工程人才的培育要求。

规范新——本套教材中凡涉及土木工程规范的全部采用国家颁布的最新规范。

本套教材是新专业目录颁布实施后的第一套土木工程专业系列教材,是面向新世纪、适应新专业的一套全新的教材。能为新世纪土木工程专业的教材建设贡献微薄之力,自是我们应尽的责任和义务,我们感到十分欣慰。然而,正因其为第一套教材,尽管我们的编审者、编辑出版者夙兴夜寐、尽心竭力,不敢稍有懈怠,它仍然还会存在缺点和不足。嚶其鸣矣,求其友声,我们诚恳地希望选用本套教材的广大师生在使用过程中给我们多提意见和建议,以便我们不断修改、完善全套教材,共同为教育事业的发展作出贡献。

武汉工业大学出版社

2000.2

前 言

本教材是按照高等学校土木工程类“土木工程测量”课程教学大纲的要求,总结编者多年教学经验,并在广泛征求同行专家意见的基础上编写的。本教材适用于土木工程、水利工程、环境工程、建筑学、城市规划、道路与桥梁、农业与林业等有关专业,也可作其他相关专业教学用书,以及作工程技术人员参考书。

在编写过程中,努力贯彻以基础理论和基本概念为重点,以基本技术和方法为主要内容的专业基础课特点。在内容上力求理论与实践相结合,用现代测绘新技术逐步更新传统技术,由浅入深,循序渐进。

参加本教材编写工作的有:过静珩教授编写第 1、3、4、6、14 章;饶云刚副教授编写第 2、9、13 章;刘文生副教授编写第 10、11 章;殷耀国副教授、刘文生副教授编写第 5 章;王大鹏副教授、殷耀国副教授编写第 7、8、12 章。全书由清华大学过静珩教授统稿并担任主编。由清华大学刘永明教授进行了认真、细致的审查,在此表示感谢。

由于编者水平所限,书中可能存在不少缺点和错误,谨请读者批评指正。

编者

2000. 7. 20

目 录

1 绪 论	(1)
1.1 土木工程测量学的任务	(1)
1.2 地球的形状和大小	(2)
1.3 测量常用的坐标系统	(3)
1.4 地面点位的确定原理	(6)
1.5 用水平面代替水准面的限度	(8)
习题与思考题	(10)
2 水准测量	(11)
2.1 水准测量原理	(11)
2.2 水准仪和水准尺	(11)
2.3 水准测量方法	(15)
2.4 水准测量成果计算	(18)
2.5 微倾式水准仪的检验与校正	(19)
2.6 水准测量误差及其消减方法	(22)
2.7 精密水准仪和水准尺	(23)
2.8 自动安平水准仪和激光扫平仪	(25)
习题与思考题	(27)
3 角度测量	(28)
3.1 角度测量原理	(28)
3.2 DJ6 型光学经纬仪	(29)
3.3 DJ6 型光学经纬仪读数装置和操作使用	(30)
3.4 水平角和竖直角测量方法	(34)
3.5 经纬仪的检验与校正	(37)
3.6 角度测量误差分析及注意事项	(40)
3.7 电子经纬仪	(42)
习题与思考题	(45)
4 距离测量	(47)
4.1 钢尺量距	(47)
4.2 钢尺量距误差及注意事项	(50)
4.3 视距测量	(51)
4.4 电磁波测距	(55)
习题与思考题	(64)
5 测量误差的基本知识	(65)
5.1 观测误差概述	(65)
5.2 衡量观测值精度的标准	(67)

5.3	误差传播定律	(69)
5.4	等精度直接观测平差	(72)
5.5	不等精度直接观测平差	(74)
	习题与思考题	(76)
6	小地区控制测量	(78)
6.1	控制测量概述	(78)
6.2	直线定向及坐标正反算	(81)
6.3	导线测量	(83)
6.4	小三角测量	(88)
6.5	交会定点	(92)
6.6	三、四等水准测量	(96)
6.7	三角高程	(98)
	习题与思考题	(100)
7	地形图基本知识	(103)
7.1	地形图的比例尺	(103)
7.2	地形图的分幅和编号	(104)
7.3	地形图图外注记	(108)
7.4	地形图图式	(110)
7.5	地籍图基本知识	(116)
	习题与思考题	(122)
8	大比例尺地形图测绘	(123)
8.1	测图前的准备工作	(123)
8.2	碎部点平面位置的测绘方法	(124)
8.3	经纬仪测绘法	(125)
8.4	平板仪测图	(127)
8.5	地形图的绘制	(131)
8.6	全站仪数字化测图	(133)
8.7	航空摄影测量简介	(135)
8.8	地籍图测绘	(137)
	习题与思考题	(138)
9	地形图应用	(139)
9.1	地形图阅读	(139)
9.2	地形图应用的基本内容	(140)
9.3	按设计线路绘制纵断面图	(143)
9.4	按限制坡度在地形图上选线	(144)
9.5	确定汇水面积	(144)
9.6	平整场地中的土石方估算	(144)
	习题与思考题	(147)
10	施工测量的基本方法	(149)
10.1	施工测量概述	(149)

10.2	建筑施工控制测量	(151)
10.3	放样的基本工作	(154)
10.4	点的平面位置放样	(156)
10.5	圆曲线放样	(157)
	习题与思考题	(160)
11	民用建筑与工业厂房施工放样	(161)
11.1	概述	(161)
11.2	民用建筑施工放样	(161)
11.3	工业建筑施工测量	(168)
11.4	烟囱、水塔施工放样	(171)
11.5	激光技术在施工测量中的应用	(173)
	习题与思考题	(175)
12	线路测量与桥梁、隧道施工测量	(176)
12.1	概述	(176)
12.2	线路测量的基本过程	(179)
12.3	中线测量	(179)
12.4	圆曲线里程桩放样	(183)
12.5	线路纵、横断面图测绘	(184)
12.6	线路工程施工测量	(189)
12.7	管道施工测量	(191)
12.8	隧道工程施工测量	(193)
12.9	桥梁工程施工测量	(197)
	习题与思考题	(200)
13	房屋建筑变形测量和竣工总平面图测绘	(202)
13.1	房屋建筑变形测量概述	(202)
13.2	建筑物及深基坑垂直位移测量	(203)
13.3	建筑物及深基坑水平位移测量	(206)
13.4	建筑物和深基坑倾斜观测	(207)
13.5	挠度和裂缝观测	(210)
13.6	竣工总平面图的编绘	(210)
	习题与思考题	(211)
14	全球定位系统(GPS)定位原理简介	(212)
14.1	概述	(212)
14.2	全球定位系统(GPS)的组成	(213)
14.3	GPS 卫星定位基本原理	(216)
14.4	GPS 接收机及其工作原理	(221)
14.5	GPS 测量实施	(223)
	习题与思考题	(228)
	参考文献	(229)

1 绪 论

本章提要

本章主要介绍测绘学的研究内容。重点讲述土木工程测量的研究内容和任务。简要概述地球形状和大小的概念及研究方法。介绍测量常用坐标系统及地球表面点位置的确定方法及测量原理。分析用平面代替水准面的限度。

1.1 土木工程测量学的任务

测绘学是研究地球形状和大小以及确定地球表面(包括空中、地表、地下和海洋)物体的空间位置,以及对于这些空间位置信息进行处理、储存、管理的科学。

测绘学按照研究对象及采用技术的不同,又分为多个学科,如:

大地测量学——研究地球的大小和形状,解决大范围地区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。

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、大小和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、地面摄影测量和航天遥感等。

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、竣工验收和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。现代地图制图学向着制图自动化、电子地图制作及地理信息系统方向发展。

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。测绘技术及成果应用面很广,对于国民经济建设、国防建设和科学研究有着重要作用。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,地下矿产资源的勘探和开采等都需要测量工作。在国防建设中,测绘技术不但对国防工程建设、作战战役部署和现代化诸兵种协同作战起着重要的保证作用,而且对于现代化的武器装备,如远程导弹、空间武器及人造卫星和航天器的发射也起着重要作用。测绘技术对于空间技术研究、地壳形变、地震预报、地球动力学研究等科学研究方面也是不可缺少的工具。

土木工程测量学属于工程测量学范畴,它主要是面向土木建筑、环境、道路、桥梁、水利等学科。主要任务是:

(1) 研究测绘地形图的理论和方法

地形图是土木工程勘察、规划、设计的依据。土木工程测量是研究确定地球表面局部区域建筑物、构筑物、天然地物和地貌、地面高低起伏形态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,以及将测量资料按比例绘制成地形图或制作成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

本课程重点讲述在地形图上进行土地平整、土方计算、道路选线、房屋设计和区域规划的基本原理和方法。

(3) 研究建(构)筑物施工放样、建筑质量检验的技术和方法

施工放样测量是工程施工的依据。土木工程测量研究将规划设计在图纸上的建筑物、构筑物准确地标定和放样在地面上的技术和方法。研究施工过程及大型金属结构物安装中的监测技术,以保证施工质量和安全。

(4)对大型建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,为确保工程和使用的安全,应对建筑物进行位移和变形监测。本课程主要讲述位移和变形监测的技术和方法。

总之,测量工作将贯穿在土木工程建设的整个过程。从事土木工程的技术人员必需掌握土木工程测量的基本知识和技能。土木工程测量是土木工程建设技术人员的一门必修的技术基础课。

1.2 地球的形状和大小

人类为了适应、利用和改造环境,自古以来一直在研究地球的大小和形状。地球表面是极不规则的曲面,它上面有高山、平原、江河、湖泊。有位于我国西藏高原上,高于海平面 8846.27m 的珠穆朗玛峰;有位于太平洋西部,低于海平面 11022m 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 6371km 相比,只有 1/600,相比之下起伏是微小的,所以仍可以将地球作为球体。地球自然表面大部分是海洋,面积占地球表面的 71%,陆地只占 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。

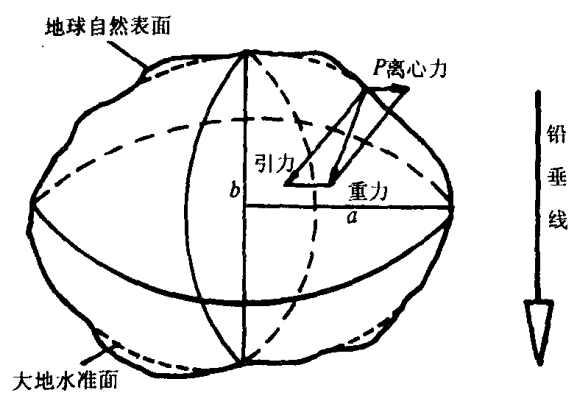


图 1-1 地球重力线

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。地球上的物体受到地球引力、地球自转离心力及太阳、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。一条细绳系一锤球,细绳在重力作用下形成的下垂线,称为铅垂线。铅垂线是测量工作的基准线。

地面上,处处与重力方向垂直的连续曲面称为水准面。水准面因其高度不同而有无穷多个。水准面是重力等位面,水准面之间因重力不同,不会相交。与水准面相切的平面称为水平面。

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,它最接近地球真实形态和大小。在实际测量中,常以大地水准面作为测量的基准面。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。重力方向会指向高密度物体,离开低密度物体。地球重力场是不均匀的,所以大地水准面是一个起伏变化的不规则曲面。这样的曲面无法在其上面进行测量数据的处理,见图 1-2。

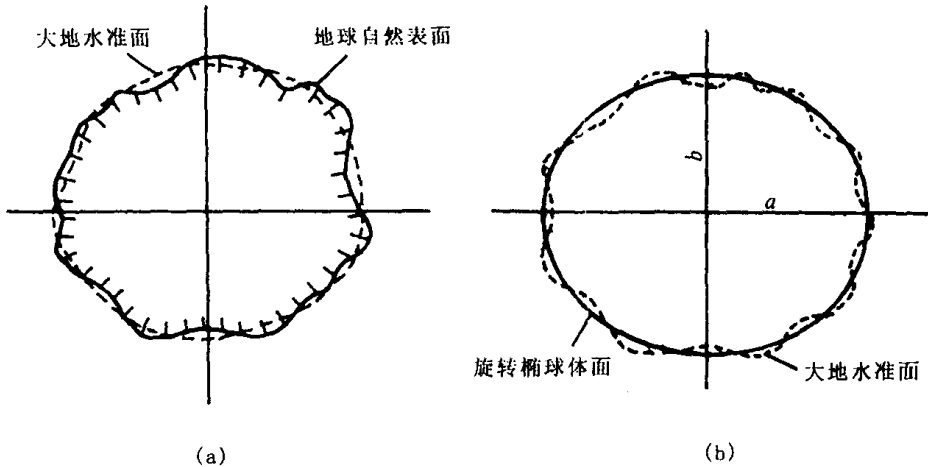


图 1-2 大地水准面与地球旋转椭球体面示意图

为了便于正确地计算测量成果,准确表示地面点的位置,测量上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形状和大小。这个旋转椭球体称为参考椭球体,它是一个规则的曲面体。可以用数学公式表示为:

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

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

$$\alpha = \frac{a-b}{a} \quad (1-2)$$

我国采用的参考椭球体几何参数有:

(1)1954 年北京坐标系,采用前苏联克拉索夫斯基参考椭球体参数:

$$a = 6378245\text{m} \quad \alpha = 1:298.3$$

(2)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:

$$a = 6378140\text{m} \quad \alpha = 1:298.257$$

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圆球体,其半径 R 采用地球半径平均值 6371km。

1.3 测量常用的坐标系

地面点的空间位置都与一定的坐标系相对应。在测量上常用的坐标系有空间直角坐标系、大地坐标系、高斯投影平面直角坐标系、平面独立直角坐标系等。地面点位常用三个量表示。在空间直角坐标系中用 X 、 Y 、 Z 表示。在大地坐标系和高斯投影平面直角坐标系中,两个量为坐标,它表示地面点沿着基准线投影到基准面上,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。

1.3.1 大地坐标系

大地坐标系是以参考椭球体面为基准面。常用大地经度 L 、大地纬度 B 、大地高 H 表示地面点的空间位置。图 1-3 表示以 O 为球心的大地椭球体, N 为北极、 S 为南极, NS 为短轴。过中心 O 并与短轴垂直的平面与椭球相交的面为赤道面。 P 为地面点。含有短轴的面为子午面。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。 $NP'S$ 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。 PK_P 线与赤道面的交角 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 。

国际规定,过格林尼治天文台的子午面为零子午面。向东经度为正,向西为负,其值域为 $0^\circ \sim \pm 180^\circ$ 。纬度以赤道面为基准面。向北称为北纬,向南称为南纬,其值为 $0^\circ \sim 90^\circ$ 。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。我国版图处于东经 $74^\circ \sim 135^\circ$,北纬 $3^\circ \sim 54^\circ$,如北京位于北纬 40° ,东经 116° ,用 $B=40^\circ\text{N}$, $L=116^\circ\text{E}$ 表示。

地面点位也可以用空间直角坐标 (X, Y, Z) 表示,见图 1-4,以球心 O 为坐标原点, ON 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,旋转轴为 Z 轴方向。过 O 点与 XOZ 面垂直,并与 X 、 Z 构成右手坐标系为 Y 轴方向。点 P 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(参见《大地测量学》)。

1.3.2 高斯平面直角坐标系

大地坐标系是大地测量的基本坐标系。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及运算,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。

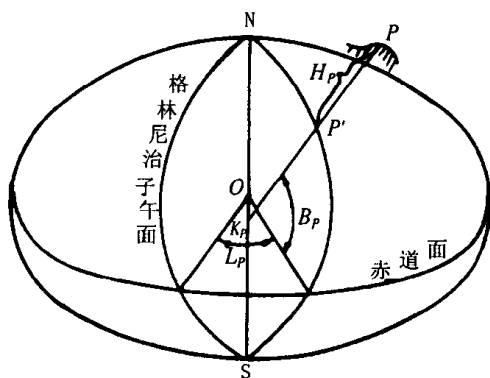


图 1-3 大地坐标系

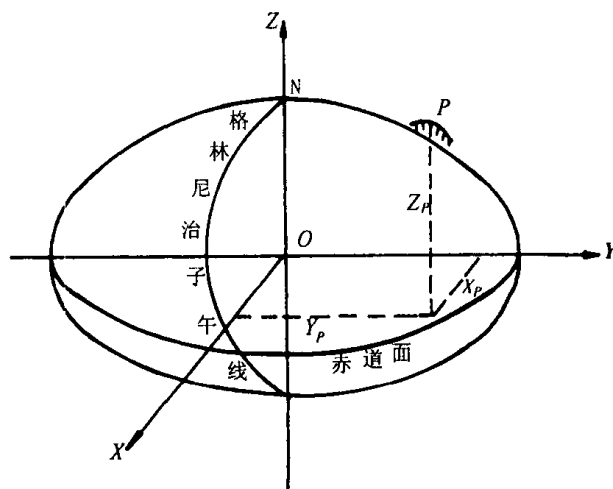


图 1-4 空间直角坐标系

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。

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 :

$$m = \frac{ds}{dS} = k$$

式中: ds ——投影后的长度;

dS ——球面上的长度。

(1)高斯投影的概念

高斯是德国杰出的数学家、测量学家。他提出的横椭圆柱投影是一种正形投影。它是将一个横椭圆柱套在地球椭球体上,见图 1-5。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上,再沿椭圆柱 N 、 S 点母线割开,并展成平面,即成为高斯投影平面。在此平面上:

①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。

②投影后赤道是一条直线,赤道与中央子午线保持正交。

③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

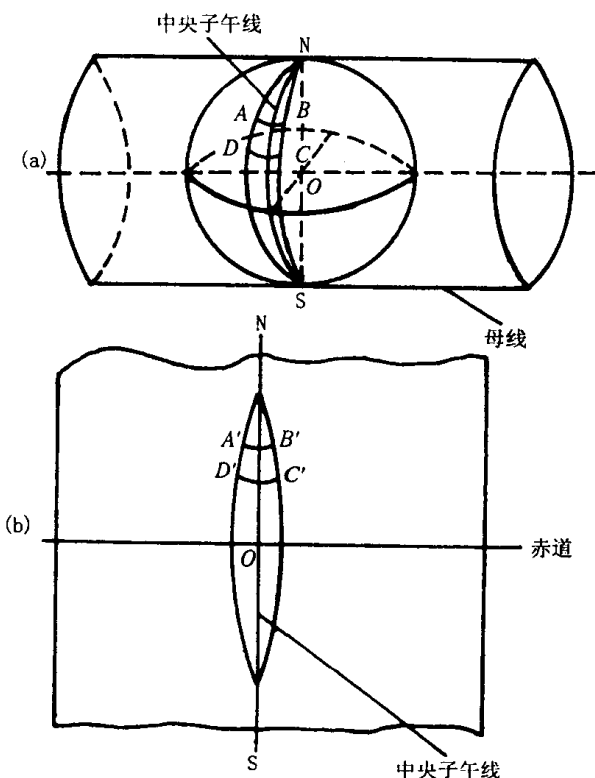


图 1-5 高斯投影

限制在靠近中央子午线的两侧狭长地带。这种方法称为分带投影。投影带宽度是以相邻两个子午线的经差 l 来划分。有 6° 带、 3° 带等不同投影方法。

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 1-6。各带中央子午线经度(L_0^6)可用下式计算:

$$L_0^6 = 6n - 3 \quad (1-3)$$

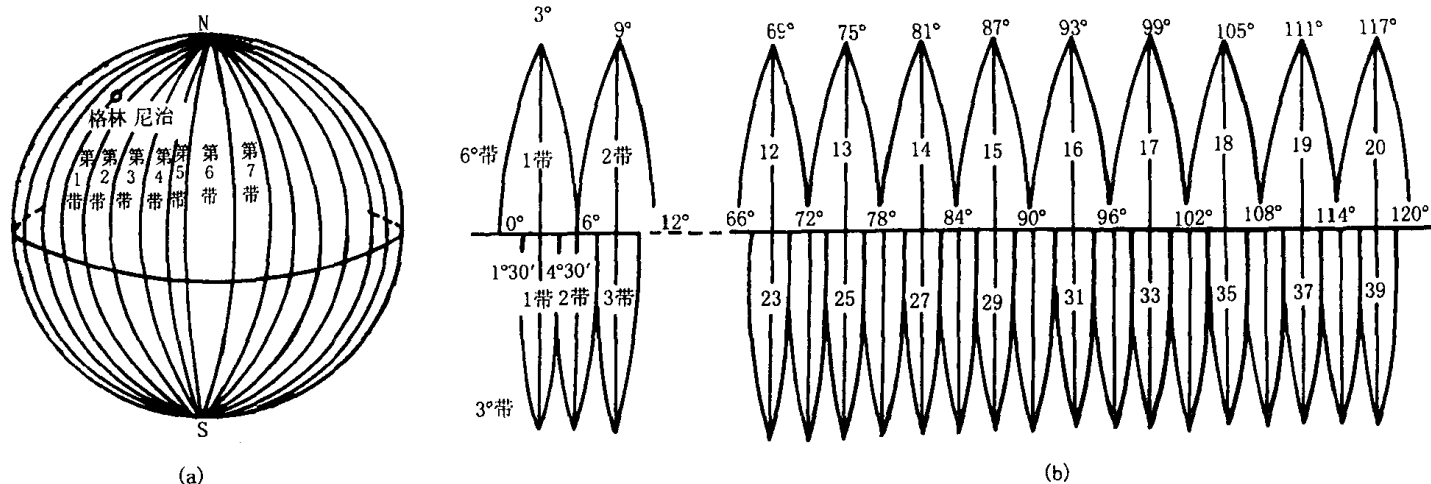


图 1-6 6°带和 3°带投影

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:

$$n = \frac{L}{6} (\text{的整数商}) + 1 (\text{有余数时}) \quad (1-4)$$

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:

$$L_0^3 = 3n' \quad (1-5)$$

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°~135°), 21 个 3°带, 从 25~45 带。北京位于 6°带的第 20 带, 中央子午线经度为 117°。

(2) 高斯平面直角坐标系的建立

根据高斯投影的特点, 以赤道和中央子午线的交点为坐标原点 o , 中央子午线方向为 x 轴, 北方向为正。赤道投影线为 y 轴, 东方向为正。象限按顺时针 I、II、III、IV 排列, 见图 1-7。在同一投影带内 y 值有正有负。这对计算和使用很不方便。为了使 y 值都为正, 将纵坐标轴西移 500km, 并在 y 坐标前面冠以带号, 如在第 20 带, 中央子午线以西 P 点:

$$x'_P = 4429757.075\text{m}$$

$$y'_P = -58269.593\text{m}$$

在 20 带中高斯直角坐标为:

$$x_P = 4429757.075\text{m}$$

$$y_P = \boxed{20} 441730.407\text{m}$$

高斯直角坐标系与数学中的笛卡尔坐标系不同(见图 1-8)。高斯直角坐标系纵坐标为 x 轴, 横坐标为 y 轴。坐标象限为顺时针划分四个象限。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。这样的做法是为了将数学上的三角和解析几何公式直接用到测量的计算上。

1.3.3 平面直角坐标系

当测区的范围较小时, 可以把测区球面当作平面处理, 直接将地面点沿铅垂线投影到水平面上, 用平面直角坐标来表示。平面直角坐标原点一般选在测区西南方, 以该测区子午线方向(真子午线或磁子午线)为 x 轴, 北方向为正。 y 轴与 x 轴垂直, 东方向为正。

1.3.4 高程系统

地面点的高程是指地面点到某一高程基准面的垂直距离。由于高程基准面选择的不同, 有不同的高程系统。测量上常用的高程基准面有参考椭球体面和大地水准面。其相应的高程为大地高和海拔高。

大地高: 是以参考椭球体面为高程基准面。大地高是地面点沿法线到椭球体面的距离, 用 H^* 表示, 见图 1-9。

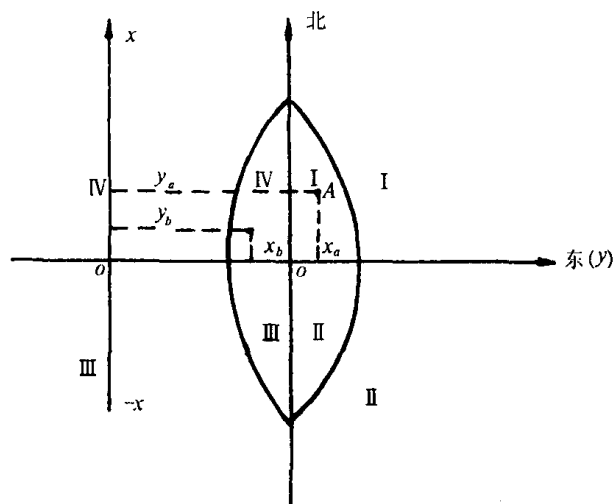


图 1-7 高斯平面直角坐标

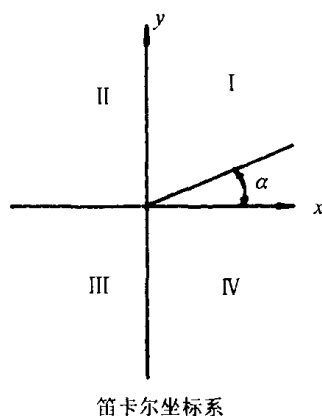


图 1-8 笛卡尔坐标和高斯直角坐标

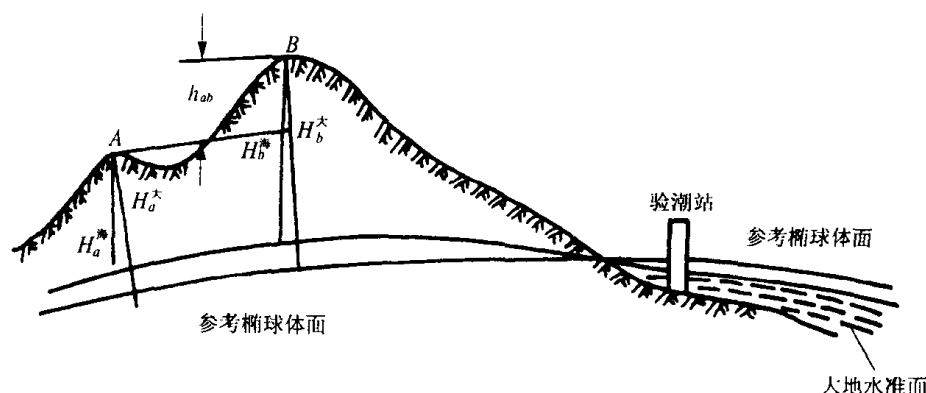
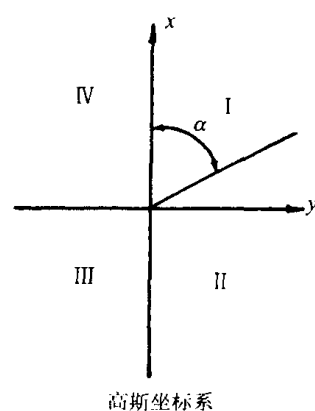


图 1-9 海拔高和大地高

海拔高:是以大地水准面为高程基准面,即地面点沿垂线到大地水准面的距离,也称为绝对高程,用 $H^{\text{海}}$ 表示。

海水面由于受潮汐、风浪的影响,是个动态曲面。所谓静止海水面是不存在的,常用平均海水面代替,即在海边设立验潮站,进行长期潮汐观测,取海水面平均高度作为高程零点。建国后,我国采用青岛验潮站长期观测资料求得黄海平均海水面作为我国高程基准面,称为“1956 年黄海高程系”。在青岛市观家山建立水准原点,其高程为 72.289m。后又将 1953 年到 1979 年验潮资料进行归算,推算青岛国家水准原点高程为 72.260m,称为“1985 年国家高程基准”。1987 年我国开始启用这个基准。

在局部地区特殊条件下,不需要和国家高程系联系,也可以采用一个假设水准面为高程起算面。这样所得到的地面高程称为假设高程或相对高程。

地面上两点间的高程差称为高差,用 h 表示,见图 1-9。A、B 两点高差为:

$$h_{ab} = H_b^* - H_a^* \quad (1-6)$$

由于大地水准面不是光滑曲面,所以一点的大地高和海拔高是不同的。这个高程差不是常数。两点之间的大地高差和海拔高差也是不相同的。

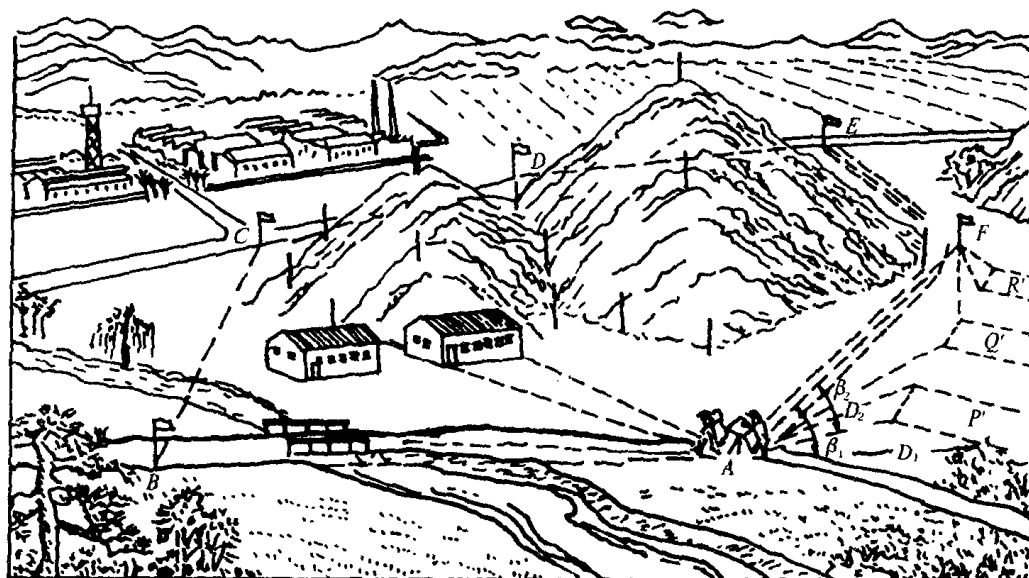
1.4 地面点位的确定原理

地球表面上的物体千差万别,但可将其分为地物和地貌两类。

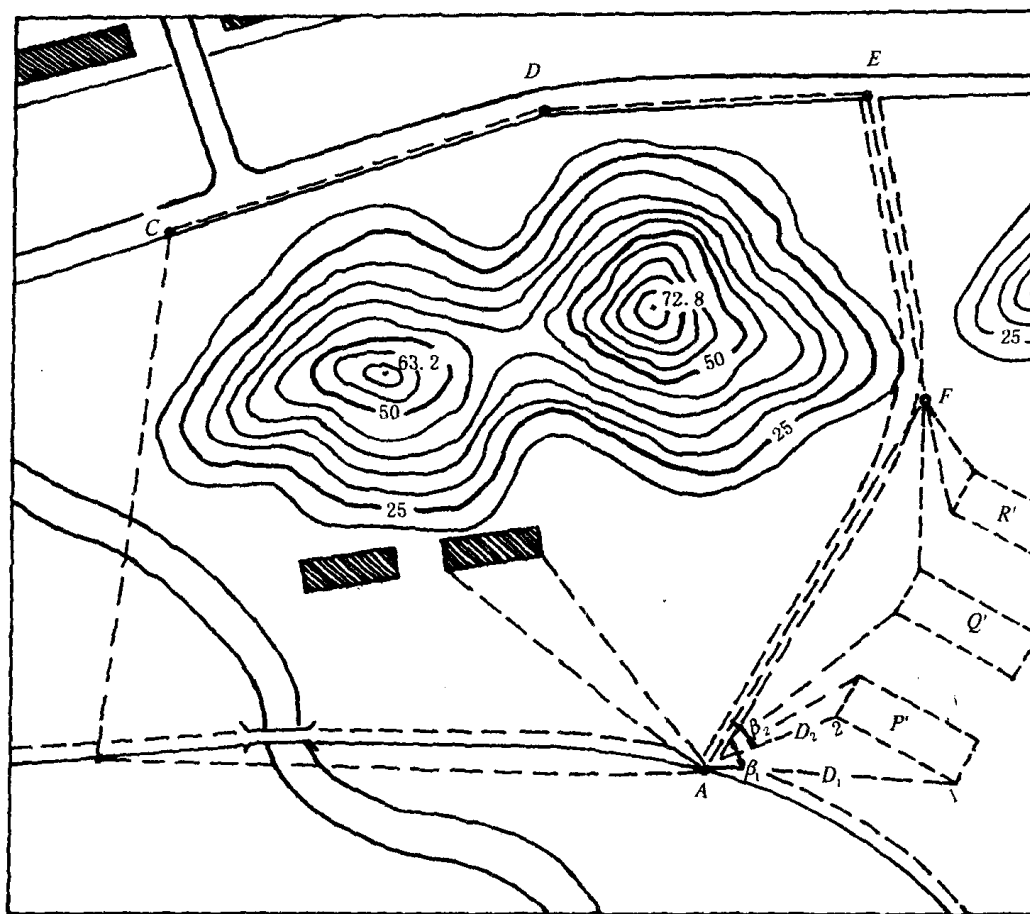
地物——包括地面上人造或天然固定物体,如房屋、道路、河流、湖泊等。

地貌——是指地球表面高低起伏的形态,如山峰、河谷、台地、悬崖等。

测量中将地物和地貌统称为地形。测定地物和地貌的三维坐标,并用平面图形表示,称为地形图。地形测量实际是在地物和地貌上选择一些有代表性的点进行测量,将测量点投影到平面上,然后用点、折线、曲线连接起来表示地物和地貌,如房屋是用房屋底面轮廓折线围成的图形表示,如图 1-10。地貌形态虽然复杂,但仍可以将其看成是由许多不同坡度、不同方向的面组成,见图 1-10。只要选择坡度变化点、山顶、鞍部、坡



(a)



(b)

图 1-10 地形图测绘方法

脚等能表现地貌特征的点。测定其三维坐标,然后投影到平面上,将同等高度的线用曲线连起来,就可将地貌的形态表现出来。这些能表现地物和地貌特征的点称为特征点。所以测量实际是测定这些特征点的三维坐标。

特征点的测量方法有多种,在土木工程测量中常用卫星定位和几何测量定位的方法。

利用卫星信号接收机,同时接收多颗定位卫星发射的信号进行定位,称为卫星定位,见图 1-11。若在待测点 P 安置卫星接收机,在某时刻同时接收三颗卫星信号,测定卫星至接收机的距离 R_P^i 。已知该时刻卫星空间三维坐标,即可用下式求出待测点三维坐标:

$$R_P^i = \sqrt{(x_P - x')^2 + (y_P - y')^2 + (z_P - z')^2} \quad (1-7)$$

用卫星定位技术测定的点位坐标是空间三维坐标,经过高斯投影变成平面坐标。

在地形测量中,常用几何测量法。如地面上有三个点 A 、 B 、 C ,其中 A 点坐标已知,待求点为 B 、 C ,见图 1-12。测定 a 、 b 间平距 D_{ab} ,及 x 纵坐标北方向与 ab 边的夹角 α_{ab} (称为方位角),即可求得 b 点平面坐标:

$$\left. \begin{aligned} x_b &= x_a + D_{ab}\cos\alpha \\ y_b &= y_a + D_{ab}\sin\alpha \end{aligned} \right\} \quad (1-8)$$

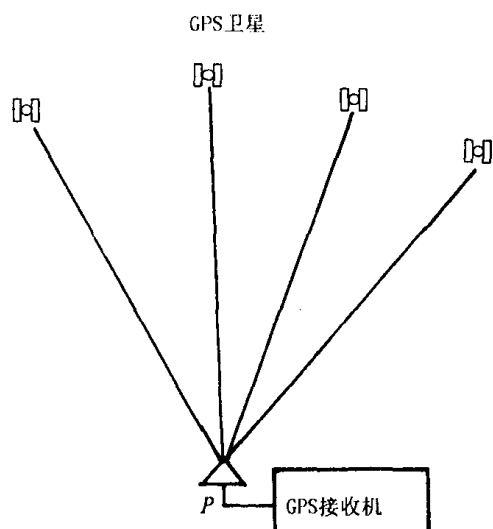


图 1-11 卫星定位原理

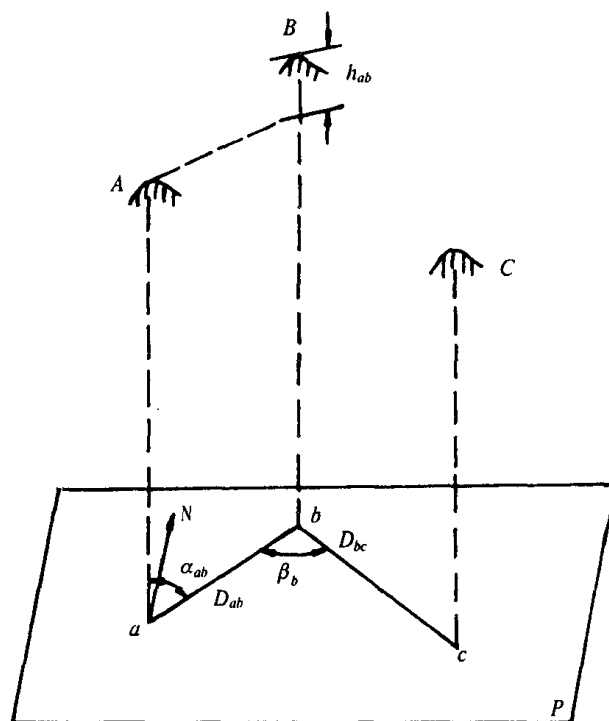


图 1-12 平面坐标几何测量方法

若 A 点高程已知,只要测定 A 、 B 点高差 h_{ab} ,即可求得 B 点高程:

$$H_b = H_a + h_{ab} \quad (1-9)$$

若已知 A 、 B 坐标,只要测定 β 角和距离 D_{bc} ,即可确定 C 点位置。所以在常规测量中,距离测量、角度测量和高差测量是确定地面点位的基本测量工作。

当测区范围大时,仪器要经过多次迁移才能完成测量任务。为了使测量成果坐标一致,减少累积误差,应先在测区内选择若干有控制意义的点,见图 1-10。用卫星定位技术或几何测量方法确定这些点的坐标(称为控制测量,所确定的点为控制点)。再以控制点坐标为依据,在控制点上安置仪器进行地物、地貌测量(称为碎部点测量)。控制点测量精度高,又经过统一的严密数据处理,在测量中起着控制误差积累的作用。有了控制点,就可以将大范围的测区工作进行分幅、分组测量。所以测量工作遵循的原则是“从整体到碎部”、“先控制后碎部”,即先做控制测量,再在控制点上进行碎部测量。另外,测量中要严格进行检核工作,即对测量的每项成果必须检核,保证前一项工作无误,方可进行下一步工作,以保证成果的正确性。

上述测量方法和原则也适用于土木工程中的施工测量。施工放样是将设计图纸上的建筑物轴线和细部测设在实地,作为施工的依据。为了保证放样的准确性、统一性,也应先做控制测量,在控制点上放样。

随着科学技术的发展,在现代测量中已有许多新技术引入,如城市 $\frac{1}{1000}$ 以上地形图已采用航空摄影测量代替常规野外测图。控制测量已采用全球导航定位系统代替常规控制测量。但是在施工测量和局部小范围的大比例尺地形图测量和施工放样仍采用常规几何测量方法。

1.5 用水平面代替水准面的限度

在土木工程测量中,由于测区范围小,或者工程对测量精度要求较低时,为了简化投影计算,常将椭球体面视为球面,甚至将球面视为平面。直接将地面点沿垂线投影到平面上,进行几何计算或绘图。但是,这样的替代是有限度的,即要求将椭球体面作为平面所产生的误差不要超过工程地形图和施工放样的精度要求。本