

中国水利教育协会组织编写
全国中等职业教育水利类专业规划教材

SHUILI GONGCHENG CELIANG

水利工程测量

主 编 王郑睿
副主编 陈 灵 高传彬



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

全、的部系来要府要需的平工量属这个有海工其数路道工即水停不流游或停停本

章四章至章二章；以成部基学量属第卅一章，用成部部代分第一一、分路大西代分

食章六章；以成部基的差为量属第卅五章；并工量属本基第三三章；刻取，那求清代

，余属图组里只限出大型街章八章，章十章；（铺筑登高路面平路）量属铺筑对烈小除

组变，量属组所，量属组果，去式本基的量属工属第卅三十章至章八章；因应已制局

麻求要的部系部组县量属工属食，港内留并代分路二章。量属疏寮因因已业工，概要

特

圖 1 (CIP) 自來水主井圖

副主编 陈 灵 高传彬

中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本教材是根据水利水电工程和建筑工程各个阶段测量工作的需要和要求编写的。全书分为两大部分：第一部分为理论知识，第一章讲述测量学基础知识；第二章至第四章介绍水准、角度、距离三项基本测量工作；第五章论述测量误差的基础知识；第六章介绍小区域控制测量（包括平面和高程控制）；第七章、第八章讲述大比例尺地形图测绘、识读与应用；第九章至第十三章介绍施工测量的基本方法，渠道测量、河道测量、变形观测、工业与民用建筑测量。第二部分为技能训练，介绍工程测量技能训练的要求和方法。

本教材可供水利水电、工业与民用建筑专业教学使用，也可供从事相关专业的技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

水利工程测量/王郑睿主编. —北京:中国水利水电出版社,2011.1(2015.7重印)
全国中等职业教育水利类专业规划教材
ISBN 978-7-5084-8072-5

I. ①水… II. 王… III. ①水利工程测量-专业学校-教材 IV. ①TV221

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 000090 号

书 名	全国中等职业教育水利类专业规划教材 水利工程测量
作 者	主编 王郑睿 副主编 陈灵 高传彬
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京嘉恒彩色印刷有限责任公司
规 格	184mm×260mm 16开本 15.75印张 374千字
版 次	2011年1月第1版 2015年7月第4次印刷
印 数	10001—12000册
定 价	33.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

全国中等职业教育水利类专业规划教材

编 委 会

主 任 周保志

副主任 彭建明 杜平原 余爱民

委 员 (按姓氏笔画排序)

王志凯 王春明 王海周 刘国发 刘彦君

刘建林 闫国范 吐尔逊·塞美提 买买提江·夏克尔

陈建国 陈海梁 杨言国 郭 军 徐水平

黄功学 商碧辉 程金夫 颜 勇 戴金华

本教材是根据教育部《关于进一步深化中等职业教育改革若干意见》及中等职业教育研究会于2004年7月在郑州组织的中等职业教育水利类专业教材编写工作会议的精神编制的,是全国水利中等职业教育学校水利水电专业教学、职业技能训练的一门专业基础课。本教材分两大部分,共13章。第一章讲述测量学基础知识;第二章至第四章介绍水准测量、角度测量、距离测量和导线测量的基础知识;第五章介绍全站仪的使用;第六章介绍地形图的基本知识;第七章介绍地形图的应用;第八章至第十章介绍施工测量的基本方法;第十一章至第十三章介绍施工测量的基本技能训练。全书力求做到重点突出、概念清楚、定义准确、文字简练。

参加本教材编写工作的有:河南省郑州水利学校王郁春(第一章、第十三章、技能训练);宁夏水利电力工程学校陈灵(第二章、第五章);河南职业技术学院高传彬(第十章、第十二章);甘肃省水利水电学校王朝伟(第四章、第十一章);四川水电高级技校程景忠(第六章);北京水利水电学校黄玉奎(第七章);河南省水利水电学校董仕勋(第八章、第九章);江苏省水利技师学院龚建刚(第三章)。全书由王郁春统编,并担任主编。

由于编者水平有限,热忱希望广大读者对书中的错误和不足给予批评指正。

编 者

2010年3月

前言

本教材是按照教育部《关于进一步深化中等职业教育教学改革若干意见》(教职成[2008]8号)及中等职业教育研究会于2009年7月在郑州组织的中等职业教育水利水电工程技术专业教材编写会议精神编写的,是全国水利中等职业教育新一轮教学改革规划教材,适用于中等职业学校水利水电专业教学。

水利工程测量是水利水电专业的一门专业技能课。本教材分两大部分,共13章。第一部分为理论知识,第一章讲述测量学基础知识;第二章至第四章介绍水准、角度、距离三项基本测量工作;第五章论述测量误差的基础知识;第六章介绍小区域控制测量(包括平面和高程控制);第七章、第八章讲述大比例尺地形图测绘、识读与应用;第九章至第十三章介绍施工测量的基本方法,渠道测量、河道测量、变形观测、工业与民用建筑测量。第二部分为技能训练,介绍工程测量技能训练的要求和方法。

本教材以应用为目的(强调理论与实践相结合,突出实践与应用),在总结多年教学经验的基础上编写而成,每章都有相应的思考题和习题,以助教学和便于自学(第十三章工业与民用建筑测量为自学内容)。同时兼顾到各个专业的不同特点,力求做到重点突出、概念清楚、定义准确,文字简练。

参加本教材编写工作的有:河南省郑州水利学校王郑睿(第一章、第十三章,技能训练);宁夏水利电力工程学校陈灵(第二章、第五章);河南职业技术学院高传彬(第十章、第十二章);甘肃省水利水电学校王朝林(第四章、第十一章);四川水电高级技校程景忠(第六章);北京水利水电学校常玉奎(第七章);河南省水利水电学校董仕勋(第八章、第九章);江西省水利技师学院龚建刚(第三章)。全书由王郑睿统编,并担任主编。

由于编者水平有限,热忱希望广大读者对书中的错误和不足给予批评指正。

编者

2010年3月

目 录

第一部分 理论知识

第一章 测量学基础知识	1
第一节 测量学的内容和任务	1
第二节 地面点位置的表示方法	3
第三节 用水平面代替水准面的限度	7
第四节 测量工作基本原则	8
思考题与习题	9
第二章 水准测量	11
第一节 水准测量原理	11
第二节 水准测量的仪器和工具	12
第三节 水准仪的使用	16
第四节 普通水准测量	17
第五节 水准仪的检验与校正	23
第六节 水准测量误差来源及其消减方法	27
第七节 自动安平水准仪、精密水准仪与电子水准仪简介	30
思考题与习题	33
第三章 角度测量	35
第一节 角度测量原理	35
第二节 DJ ₆ 型光学经纬仪及使用	36
第三节 水平角观测	40
第四节 竖直角观测	41
第五节 经纬仪的检验与校正	44
第六节 水平角测量误差来源分析	47
第七节 DJ ₂ 型光学经纬仪与电子经纬仪	49
思考题与习题	52
第四章 距离测量	54
第一节 钢尺量距	54
第二节 视距测量	59
第三节 全站仪及距离测量	62
第四节 直线定向	70

第五节 坐标正反算	73
思考题与习题	75
第五章 测量误差的基础知识	78
第一节 测量误差概述	78
第二节 偶然误差的特性	80
第三节 衡量精度的标准	82
第四节 误差传播定律	83
第五节 等精度观测的平差	88
思考题与习题	90
第六章 小区域控制测量	92
第一节 控制测量概述	92
第二节 导线测量	94
第三节 交会法测量	104
第四节 三、四、五等水准测量	108
思考题与习题	111
第七章 大比例尺地形图测绘	115
第一节 地形图的基本知识	115
第二节 地形图上地物和地貌的表示方法	123
第三节 地形图的测绘	128
第四节 数字测图简介	132
思考题与习题	137
第八章 地形图的识读与应用	139
第一节 地形图的识读	139
第二节 地形图应用的基本内容	141
第三节 地形图在工程勘测规划设计工作中的应用	143
第四节 地形图上面积的量算	146
思考题与习题	150
第九章 施工测量的基本方法	151
第一节 施工测量的概述	151
第二节 施工控制网的布设	151
第三节 基本测设工作	152
第四节 点的平面位置的测设	155
第五节 测设已知坡度线	158
第六节 圆曲线的测设	159
思考题与习题	162
第十章 渠道测量	164
第一节 踏勘选线	164
第二节 中线测量	165

第三节	纵横断面测量	166
第四节	土(石)方量计算	171
第五节	施工断面放样	173
	思考题与习题	174
第十一章	河道测量	175
第一节	概述	175
第二节	水位观测	176
第三节	水深测量	179
第四节	河道纵横断面测量	182
第五节	水下地形测量	185
	思考题与习题	188
☆第十二章	变形观测	190
第一节	概述	190
第二节	垂直位移观测	193
第三节	水平位移观测	195
第四节	倾斜观测和裂缝观测	198
	思考题与习题	200
☆第十三章	工业与民用建筑测量	201
第一节	建筑场地施工控制测量	201
第二节	民用建筑施工测量	207
第三节	工业厂房施工测量	222
第四节	烟囱施工测量	228
	思考题与习题	230

第二部分 技能训练

一、普通水准测量	232
二、四等水准测量	233
三、 S_3 水准仪 i 角检验	234
四、测回法水平角观测	235
五、竖直角观测	236
六、全站仪角度、边长测量	237
七、地形图应用: 确定图上一点的平面位置	238
八、经纬仪测设水平角	239
九、测设已知高程点	240
十、建筑物平面位置点放样	241
参考文献	242

(带☆的章节为选学内容或作参考资料)

第一部分 理论 知识

第一章 测量学基础知识

【学习内容】

本章主要讲述：测量学的概述，地面点位置的表示方法，水准面、大地水准面、地理坐标、平面直角坐标、绝对高程、相对高程、比例尺、比例尺精度等基本概念，用水平面代替水准面的限度。

【学习要求】

1. 了解建筑工程测量的地位、作用和任务。
2. 掌握地面点位的确定方法。
3. 掌握水准面、大地水准面、地理坐标、平面直角坐标、绝对高程、相对高程、比例尺、比例尺精度、测量工作的基本原则等基本概念。
4. 重点是地面点位的表示方法（坐标和高程）。
5. 难点是水准面、大地水准面、参考椭球面概念的建立及用水平面代替水准面的限度。

第一节 测量学的内容和任务

一、测量学的研究对象、任务及作用

测量学是研究如何测定地面点的点位，将地球表面的各种地物、地貌及其他信息测绘成图以及确定地球形状和大小的一门学科。

根据研究对象和工作任务的不同，测量学又分为以下几门主要分支学科。

1. 大地测量学

研究在地球表面广大区域内建立大地控制网，测定地球形状、大小和地球重力场的理论、技术和方法的学科称为大地测量学。其主要任务是为其他测量工作提供起算数据；为空间技术和军事用途提供控制基础数据；为地球科学研究提供资料。

2. 地形测量学

研究测绘地形图的理论、技术与方法的学科称为地形测量学。地形测量的任务就是将地球表面的地物、地貌及其他信息测绘成图，以满足各个领域、各个方面的需要。

3. 摄影测量学

研究如何利用摄影相片来测定物体的形状、大小、位置和获取其他信息的学科称为摄影测量学。其主要任务仍然是测绘地形图。根据摄影方式的不同，摄影测量又分为航空摄

影测量、地面摄影测量、航天摄影测量和水下摄影测量等。

4. 工程测量学

研究工程建设在规划设计、建筑施工、运营管理各个阶段如何进行测量的理论、技术与方法的学科称为工程测量学。工程测量的任务是提供工程规划设计所必需的地形图、断面图和其他观测数据,进行建筑物的施工放样,并进行长期的安全监测工作。根据工程性质的不同,工程测量又分为水利水电工程测量、矿山工程测量、道路工程测量、工业与民用建筑工程测量、军事工程测量等。

以上各门学科,既自成体系,又是密切联系、互相配合的。本课程以应用为目的,主要讲述地形测量学和工程测量学的部分内容。着重介绍水利、工业与民用建筑工程中常用测量仪器的构造与使用、大比例尺地形图的测绘以及施工测量等方面的内容。

各种工程建设以及工程建设的各个阶段都是离不开测量工作的。例如在河道上修建水电站,首先应测绘坝址以上流域的地形图,作为水文计算、地质勘探、经济调查等规划设计的依据;初步设计后,要为大坝、涵闸、厂房等水工建筑物的设计测绘较详细的大比例尺地形图;在施工过程中,又要通过施工放样指导开挖、砌筑和设备安装;工程竣工时,检查工程质量是否符合设计要求,还要进行竣工测量;在工程的使用管理过程中,为了监视运行情况,确保工程安全,应定期对大坝进行变形观测。由此可见,测量工作伴随着工程建设的全过程,贯穿于工程建设的始终。作为一名工程技术人员,必须掌握必要的测量知识和技能,才能担负起工程勘测、规划设计、施工及管理各项任务。

从以上讨论中可以看出,对于工程建设而言,测量工作大体上可以分为“测定”和“测设”两大方面。所谓测定,就是把地表的存状态,通过一定的测量仪器和测量方法进行测量,并以数据或图纸的形式把它们表现出来,以满足工程规划设计的需要。所谓测设(又称施工放样),就是把图纸上的设计好的建筑物、构筑物,通过一定的测量仪器和测量方法将它们的位置在实地上标定出来,以作为施工的依据。

二、测绘科学的发展概况

测绘科学在我国具有悠久的历史。远在4000多年前,夏禹治水时,就发明和应用了“准、绳、规、矩”等测量工具和方法。春秋战国时期发明的指南针,至今还在广泛使用。东汉张衡创造的“天球仪”对天相作了形象和正确的表述,在天文测量史上留下了光辉的一页。724年唐代南宫说在现今河南丈量了300km的子午线弧长,是世界上第一次的子午线弧长测量。宋代的沈括曾使用罗盘、水平尺进行地形测量。元代的郭守敬拟定了全国纬度测量计划并测定了27个点的纬度。清代康熙年间进行了全国测绘工作,出现了我国第一部实测的省级图集和国家图集。

世界范围内,17世纪初望远镜的发明和应用,对测量技术的发展起了很大的作用。1683年,法国进行了弧度测量,证明了地球是两极略扁的椭球体。1794年德国高斯创立的最小二乘法理论,对测量理论作出了宝贵的贡献,至今仍是处理测量成果的理论基础。20世纪初飞机的发明和使用,使航空摄影测量技术得到了迅速发展,大大减轻了野外测图的劳动强度。

新中国成立后,我国的测绘事业进入到一个蓬勃发展的新阶段。60多年来取得了巨

大成就：建立和统一了全国的坐标系统和高程系统；建立了遍及全国的大地控制网、国家水准网、基本重力网和卫星多普勒网，完成了国家大地网和水准网的整体平差；完成了覆盖全国大陆，具有统一坐标系的中、小比例尺地形图；完成了珠峰和南极长城站地理位置和高程的测量；配合国民经济建设进行了大量的测绘工作（南京长江大桥、葛洲坝水电站、宝山钢铁厂、长江三峡水利枢纽、黄河小浪底水利枢纽等大型工程的精确放样和设备安装测量）。我国测绘仪器的生产，经历了从无到有的过程，不仅能生产各类系列的光学仪器，还成功研制出各种先进的光电仪器。我国培养的各类测绘技术人才已达数万名之多。

新的科学技术的发展，大大推动了测绘事业的发展。20 世纪 60 年代初激光红外技术的兴起，开辟了电磁波测距的新天地，目前各类电磁波测距仪在测量工作中得到了广泛的应用。电子计算机的出现，使计算技术得到了根本性的变革。几十年来，电子计算机类型之多，更新之快，发展之迅速实属空前，用计算机实施测量计算，尤其对大规模控制网的严密平差既迅速又准确，减轻了繁重的内业计算工作。十几年来制成的电子经纬仪，与电磁波测距仪、电子计算器和记录装置相配合组成了全站型的电子速测仪，可以自动地记录和运算，迅速获得地面点的三维坐标，构成由外业测量到数据存储、计算机处理乃至打印与绘图的自动化流程，大大加快了工作速度。随着航天技术和遥感技术的迅速发展，测量技术已由常规的大地测量发展到人造卫星大地测量，由航空摄影发展到航天遥感，测量对象已由单一的地球和地球表面扩展到空间星体，由静态发展到动态。目前测量工作正向着多领域、多品种、高精度、自动化、数字化的方向发展，以 GPS（全球定位系统）、GIS（地理信息系统）、RS（遥感技术）即 3S 技术为核心的测量高科技时代已经到来。

第二节 地面点位置的表示方法

一、地球的形状和大小

地球表面是极其不规则的，有山地、丘陵、平原、盆地、海洋等起伏变化，陆地上最高处珠穆朗玛峰高出海平面 8844.43m，海洋最深处马利亚纳海沟深达 11022m，看起来起伏变化非常之大，但是这种起伏变化和庞大的地球（半径约 6371km）比起来是微不足道的；同时，就地球表面而言，海洋的面积约占 71%，陆地仅占 29%，因此，海水面所包围的形体看作地球的形状。

由于地球的自转运动，地球上任何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。重力的作用线称为铅垂线。如悬挂物体静止时自然下垂的线即为铅垂线。铅垂线是测量工作的基准线。

水自然静止时的表面称为水准面，它是一个重力等位面，其特性是处处与铅垂线垂直。由于水位有高有低，所以水准面有无穷多个，其中与平均海水面（由于受太阳、月亮地球三者引力的影响，出现潮汐，海水面时高时低，取它们的平均位置，即平均海水面）吻合并向大陆内部延伸而形成的封闭曲面称为大地水准面，大地水准面是测量工作的基准面。

大地水准面所包围的形体称为大地体。确切地讲，我们是以大地体来表示地球形状和

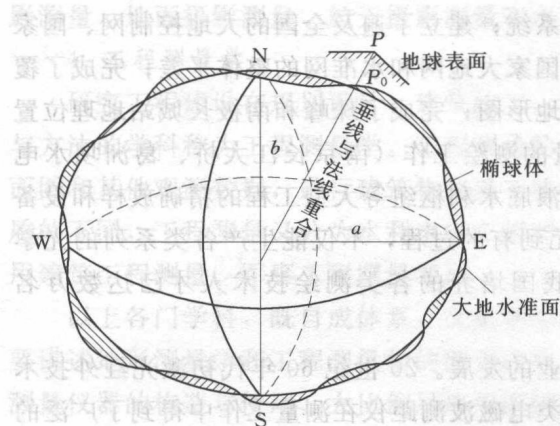


图 1-1 大地水准面与椭球体

制图工作的基准面。

用来代替大地体的旋转椭球通常又称为“地球椭球”。地球椭球不是唯一的，在全球范围内，和大地体最为密合的地球椭球称为总地球椭球；只是与一个国家或一个地区大地水准面最为密合的地球椭球称为参考椭球。由此可见参考椭球有许多个，而总地球椭球（理想的地球椭球，实际并未求得）只有一个。

地球椭球的元素有长半径 a ，短半径 b 和扁率 $\alpha \left(\alpha = \frac{a-b}{a} \right)$ ，只要知道其中的两个元素，即可确定椭球的形状和大小，通常采用 a 和 α 两个元素。我国过去采用的是克拉索夫斯基椭球 ($a=6378245\text{m}$, $\alpha=1:298.3$)，由于该椭球的表面与我国大地水准面的情况不相适应，故自 1980 年以后，采用了 1975 年国际椭球 ($a=6378240\text{m}$, $\alpha=1:298.257$)。

对于求定或选定的地球椭球，还必须使它的表面和大地水准面的关系位置完全固定下来，这一项工作称为椭球定位。参考椭球的定位，通常是在地面上选定一点 P ，如图 1-1 所示，令 P 点的铅垂线与椭球面上相应点 P_0 的法线重合，并使 P_0 点上的椭球面与大地水准面相切，而且使本国范围内的椭球面与大地水准面尽量接近，这样参考椭球与大地体的关系位置便被固定下来。

定位时选定的 P 点称为大地基准点或大地原点，测量工作中，将以它在椭球面上的位置 P_0 为基准去推算其他各点的大地坐标。所以选定了大地原点，进行了椭球定位，就算确定了一个坐标系。新中国成立初期，鉴于当时的历史条件，我国借助于前苏联的坐标系建立了我国的大地坐标系，称为“1954 年北京坐标系”。后来根据新的测量数据，发现该坐标系与我国实际情况相差较大。1980 年，我国采用了 1975 年国际椭球，坐标原点设在陕西省泾阳县内，对椭球定位，建立了真正意义上我国自己的大地坐标系，称为“1980 年国家大地坐标系”。

由于参考椭球的扁率很小，在普通测量中可以近似地将大地体视为圆球体，其半径采用与参考椭球体积相同的圆球半径，其值 R 为 6371km 。当测区范围较小时，又可以将该部分球面当成平面看待，亦即将该部分的水准面当成平面看待。当成平面看待的水准面称为水平面。小范围测区的测量工作是以水平面作为基准面的。

大小的。但由于地球内部物质分布不均匀，致使铅垂线方向产生不规则变化，因而使大地体的表面（大地水准面）成为一个有微小起伏的不规则曲面，如图 1-1 所示。在这个面上无法进行测量的计算工作，因此必须寻求一个规则的数学曲面来代替它。

长期的测量实践和研究结果表明，大地体的形状极接近于一个两极略扁的旋转椭球（即一个椭圆绕其短轴旋转而成的球体），于是就采用一个恰当的旋转椭球来代替大地体。旋转椭球的表面是一个规则的数学曲面，如图 1-1 所示，它是测量计算和投影

二、地面点位置的表示方法

测量工作,无论多么复杂,都可以归结为测定或测设一系列地面点的位置,所以了解和掌握地面点位的表示方法是十分重要的。

和空间解析几何中空间点位的表示方法相类似,地面点的位置是以它在某一个基准面上的投影位置(坐标)和它相对于某一个基准面的高度位置(高程)来表示的。

(一) 地面点的坐标

由于选取的基准面不同,地面点的坐标有多种表达方式。测量工作中常用的坐标有以下几种。

1. 大地坐标

用大地经度 L 和大地纬度 B 表示地面点在参考椭球面上投影位置的坐标,称为大地坐标。

如图 1-2 所示, O 为参考椭球的球心, NS 为椭球的旋转轴,通过该轴的平面称为子午面(如图中的 $NQMS$ 面)。子午面与椭球面的交线称为子午线,又称经线,其中通过英国伦敦格林尼治天文台的子午面和子午线分别称为起始子午面和起始子午线。通过球心 O 且垂直于 NS 轴的平面称为赤道面(如图中的 WM 面和 ME 面),赤道面与参考椭球面的交线称为赤道。通过椭球面上任一点 Q 且与过该点切平面垂直的直线 QK ,称为 Q 点的法线。地面上任一点都可以向参考椭球面作一条法线。地面点在参考椭球面上的投影,即通过该点的法线与参考椭球面的交点。

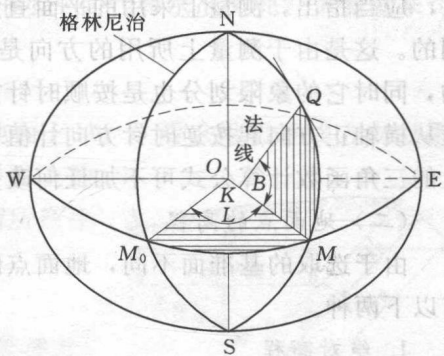


图 1-2 大地坐标

大地经度 L ,即通过参考椭球面上某点的子午面与起始子午面的夹角。由起始子午面起,向东 $0^\circ \sim 180^\circ$ 称为东经;向西 $0^\circ \sim 180^\circ$ 称为西经。同一子午线上各点的大地经度相同。

大地纬度 B ,即参考椭球面上某点的法线与赤道面的夹角。从赤道面起,向北 $0^\circ \sim 90^\circ$ 称为北纬;向南 $0^\circ \sim 90^\circ$ 称为南纬。纬度相同的点的连线称为纬线,它平行于赤道。

地面点的大地经度和大地纬度可以通过大地测量的方法确定。

2. 高斯平面直角坐标

大地坐标的优点是对于整个地球有一个统一的坐标系,用它来表示地面点的位置形象直观。但它的观测和计算都比较复杂,而且应用上更多的则是需要把它投影到某个平面上来。

我国大面积的地形图测绘,采用高斯平面直角坐标系。这种坐标系由高斯创意,经克吕格改进而得名。它是采用分带(经差 6° 或 3° 为一带)投影的方法进行投影,将每一投影带经投影展开成平面后,以中央子午线的投影为 x 轴,赤道投影为 y 轴而建立的平面直角坐标系。地面点在该坐标系内的坐标称为高斯平面直角坐标。

3. 平面直角坐标

对于小范围的测区,以水平面作为投影面,地面点在水平面上的投影位置用平面直角

坐标表示。

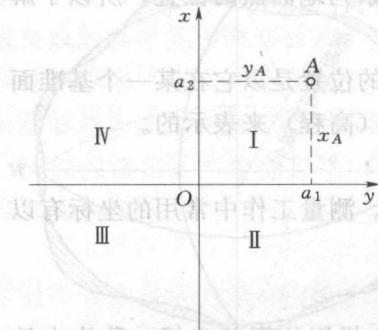


图 1-3 平面直角坐标

如图 1-3 所示, 在水平面上选定一点 O 作为坐标原点, 建立平面直角坐标系。纵轴为 x 轴, 与南北方向一致, 向北为正, 向南为负; 横轴为 y 轴, 与东西方向一致, 向东为正, 向西为负。将地面点 A 沿着铅垂线方向投影到该水平面上, 则平面直角坐标 x_A 、 y_A 就表示了 A 点在该水平面上的投影位置。如果坐标系的原点是任意假设的, 则称为独立的平面直角坐标系。为了使坐标不出现负值, 对于独立测区, 往往把坐标原点选在测区西南角以外适当位置。

地面点的平面直角坐标, 可用相关的角度和距离以及已知数据, 通过计算的方法确定。

应当指出, 测量上采用的平面直角坐标系与数学中的平面直角坐标系从形式上看是不同的。这是由于测量上所用的方向是从北方向 (纵轴方向) 起按顺时针方向以角度计值的, 同时它的象限划分也是按顺时针方向编号的, 因此它与数学上的平面直角坐标系 (角值从横轴正方向起按逆时针方向计值, 象限按逆时针方向编号) 没有本质区别, 所以数学上的三角函数计算公式可不加任何改变便可直接应用于测量的计算中。

(二) 地面点的高程

由于选取的基准面不同, 地面点的高程同样有多种表达方式, 测量工作中常用的高程有以下两种。

1. 绝对高程

地面点沿铅垂线方向至大地水准面的距离称为绝对高程, 亦称为海拔。在图 1-4 中, 地面点 A 和 B 的绝对高程分别为 H_A 和 H_B , 我国规定以黄海平均海水面作为大地水准面。黄海平均海水面的位置, 是通过青岛验潮站潮汐观测井的水位进行长期观测确定的。由于平均海水面不便于随时联测使用, 故在青岛观象山建立了“中华人民共和国水准原点”, 作为全国推算高程的依据。1956 年, 验潮站根据连续 7 年 (1950~1956 年) 的潮汐水位观测资料, 第一次确定了黄海平均海水面的位置, 测得水准原点的高程为 72.289m; 按这个原点高程为基准去推算全国的高程, 称为“1956 年黄海高程系”。由于该高程系存在验潮时间过短、准确性较差的问题, 后来验潮站又根据连续 28 年 (1952~1979 年) 的潮汐水位观测资料, 进一步确定了黄海平均海水面的精确位置, 再次测得水准原点的高程为 72.2604m; 1987 年决定启用这一新的原点高程作为全国推算高程的基准, 并命名为“1985 国家高程基准”。



图 1-4 绝对高程与相对高程

2. 相对高程

地面点沿铅垂线方向至任意假定水准面的距离称为该点的相对高程, 亦称为假定高

程。在图 1-4 中,地面点 A 和 B 的相对高程分别为 H'_A 和 H'_B 。两点高程之差称为高差,以符号“ h ”表示。图 1-4 中, A、B 两点间的高差 $h_{AB} = H_B - H_A = H'_B - H'_A$, 此式表明, 两点间的高差与高程基准面的选取无关。测量工作中, 一般采用绝对高程, 只有在偏僻地区, 没有已知的绝对高程点可以引测时, 才采用相对高程。

确定地面点的位置必须进行三项基本测量工作, 即角度测量、距离测量和高程测量。在后面的有关章节中, 将详细介绍进行这三项测量工作的基本方法。

第三节 用水平面代替水准面的限度

前已述及, 当测区范围较小时, 可以用水平面代替水准面, 即以平面代替曲面。这样的替代可使测量的计算和绘图工作大为简化。但当测区范围较大时, 就必须顾及地球曲率的影响, 不能做这样的替代。那么多大范围内才能用水平面代替水准面呢? 下面就来讨论这个问题。

一、用水平面代替水准面对距离的影响

如图 1-5 所示, 设地球是半径为 R 的圆球。地面上 A、B 两点沿铅垂线方向投影到大地水准面上的距离为弧长 D , 投影到过 a 点水平面上的距离为 D' , 显然两者之差即为用水平面代替水准面所产生的距离误差, 设为 ΔD , 则

$$\Delta D = D' - D = R \tan \theta - R \theta$$

式中: θ 为弧长 D 所对应的圆心角。将 $\tan \theta$ 用级数展开, 并取级数的前两项, 得

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

因为 $\theta = \frac{D}{R}$, 故

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

以 $R=6371\text{km}$ 和不同的 D 值代入式 (1-1), 算得相应的 ΔD 和 $\Delta D/D$ (相对误差) 值列于表 1-1 中。从表中可以看出, 距离为 10km 时产生的相对误差为 1.2×10^{-6} , 小于目前最精密测距的相对误差 1×10^{-6} 。因此可以认为: 在半径为 10km 的区域, 地球曲率对水平距离的影响可以忽略不计, 即允许将该部分的水准面当作水平面看待。在精度要求较低的测量工作中, 其范围还可以适当扩大。

表 1-1 地球曲率对水平距离的影响

距离 D (km)	0.1	1	10	25	50
距离误差 ΔD (mm)	0.000008	0.008	8.2	128.3	1026.5
距离相对误差 $\Delta D/D$	$1/1.25 \times 10^{10}$	$1/1.25 \times 10^8$	$1/1.2 \times 10^6$	$1/1.95 \times 10^5$	$1/4.9 \times 10^4$

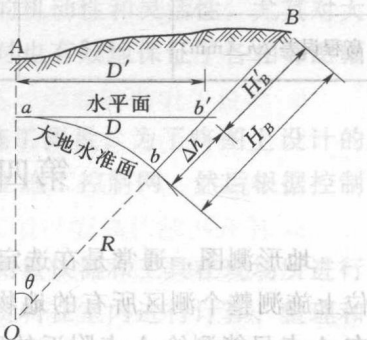


图 1-5 水平面与水准面的关系

二、用水平面代替水准面对高程的影响

在图 1-5 中从大地水准面起算，地面点 B 的高程为 H_B ，从水平面起算，B 点的高程为 H'_B ，显然其差值 Δh 即为用水平面代替水准面对高程所产生的影响。由图 1-5 可得

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

前已述及， D' 与 D 相差甚小，以 D 代替 D' ，由式 (1-2) 解得

$$\Delta h = \frac{D^2}{2R + \Delta h} \tag{1-3}$$

式 (1-3) 分母中， Δh 与 $2R$ 比较可以忽略不计，于是得到

$$\Delta h = \frac{D^2}{2R} \tag{1-4}$$

以 $R=6371\text{km}$ 和不同的 D 值代入式 (1-4)，算得相应的 Δh 值，列于表 1-2 中。从该表中可以看出，用水平面代替水准面所产生的高程误差，随着距离的平方的增大而增大，很快就达到了不能允许的程度。所以在高程测量中，即便是距离很短，也不能忽视地球曲率的影响。换言之，在高程测量中，是不允许用水平面来代替水准面的。

表 1-2 地球曲率对高程的影响

距离 D (m)	100	300	500	1000	2000	3000
高程误差 Δh (mm)	0.8	7.1	19.6	78.5	313.9	706.3

第四节 测量工作基本原则

地形测图，通常是在选定的点位上安置仪器，测绘地物、地貌。但只在一个选定的点位上施测整个测区所有的地物、地貌，则是十分困难甚至是不可能的。如图 1-6 所示，在 A 点只能测绘 A 点附近的房屋、道路、地面起伏等地物地貌，对于山的另一面或较远的地方就观测不到。如果我们在测站 A 的基础上再发展一个测站，以测绘该测站附近的地物地貌，从方法上来讲是可行的，但随之而来的问题是误差的传递，A 站的测量误差必然传递给新的测站，顺序地将测站发展下去，误差将会累积下去，以至最后的累积误差达到不能容许的程度，这将使测图成果失去意义和无法使用。所以测图工作必须按一定的原则进行，这个原则就是“先整体后局部”、“先控制后碎部”。

所谓“先整体后局部”就是在布局上先考虑整体，再考虑局部。所谓“先控制后碎部”就是在工作步骤上先进行控制测量，再进行碎部测量。图 1-6 中，从整体出发，先在整个测区范围内均匀选定若干数量的点子，如图 1-6 中的 A、B、C、D、E、F 诸点，以控制整个测区，这些点子称为控制点。选定的控制点按照一定的方式联结成网形，称为控制网，图中为闭合多边形。以较精密的方法测定网中各个控制点的平面位置和高程，这项工作称为控制测量。然后分别以这些控制点为依据，测定点位附近的地物、地貌，并勾绘成图，这项工作称为碎部测量，又称碎部测图。

按照“先整体后局部”、“先控制后碎部”的原则实施测图，由于建立了统一的控制系

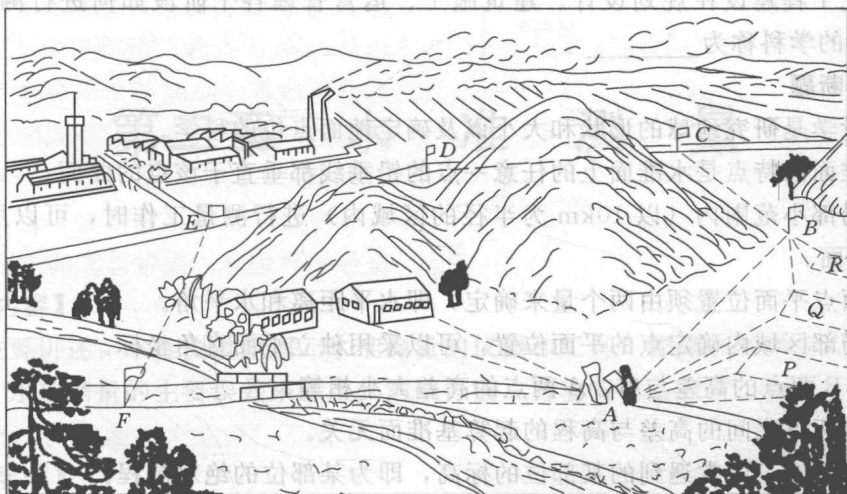


图 1-6 测图原则示意图

统，各个控制点的坐标和高程是通过网平差处理而得到的，因而各个控制点乃至以各个控制点为测站所作的碎部测量都具有相同的精度，从而有效地防止了误差累积。同时碎部测量又是在各个控制点上独立进行的，这将大大提高碎部测量的机动性和灵活性，尤其对大面积测区的分幅测图，不但为分幅测图作业提供了便利，同时也有效地保证了各相邻图幅的拼接和使用。

“先整体后局部”、“先控制后碎部”的原则同样适用于施工测量。为了将图上设计的建筑物、构筑物放样到实地去，同样应从整体出发，首先建立施工控制网，然后根据控制点和放样数据来测设建筑物、构筑物的细部点。

应当指出，测量工作有“外业”和“内业”之分，利用测量仪器和工具在现场所进行测角、测高、测距等测量工作称为测量外业；对观测数据、资料在室内进行计算、整理和绘图等工作称为测量内业。外业和内业共同决定着测量成果的质量，工作环节上的任何一处失误，都将给后续的一系列工作造成严重影响。因此不论外业或内业工作，都必须坚持“边工作边检核”、“步步工作有检核”的工作原则。同时测量工作又是一项复杂的集体劳动，任何疏忽和麻痹大意都可能导致不合格结果出现，造成部分或整体的返工，所以要求测量人员具有团结协作的工作作风以及严谨细致的工作态度是十分重要和必要的。

思考题与习题

一、填空题

1. 对工程建设而言，测量学的内容包括_____和_____两部分。
2. 水准面有无数多个，其中与平均海水面相吻合的水准面称为_____，它是测量工作的_____。
3. 用_____和_____表示地面点在参考椭球面上投影位置的坐标，称为大地坐标。