



全国高等职业教育示范专业规划教材
建筑工程技术专业国家级精品课程配套教材

建筑工程测量

JIANZHU GONGCHENG CELIANG

李向民 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

赠电子课件

全国高等职业教育示范专业规划教材
建筑工程技术专业国家级精品课程配套教材

建筑工程测量

主 编 李向民
参 编 王 伟 蒋 霖 李智慧
主 审 杨一挺 来丽芳



机械工业出版社

本书共分 10 个单元, 内容包括绪论、水准测量、角度测量、距离测量和坐标测量、控制测量、地形图测绘与应用、施工测量的基本工作、建筑施工测量、建筑变形测量与竣工总图编绘、线路施工测量。每个单元均有能力目标、学习重点与难点、单元小结、思考与拓展题。本书深入浅出, 内容丰富, 注重实用性, 体现了高等职业教育的特点。本书根据最新的测量规范编写, 反映了当代的测量新技术, 并引入用计算机软件进行施工测量计算的新内容。

本书为高职高专院校土建类专业测量课程教材, 适用于建筑工程技术、工程监理、基础工程技术、建筑工程管理、工程造价、城镇规划、建筑设计技术、园林工程技术、给排水工程技术、城市燃气工程技术、建筑设备工程技术、建筑电气工程技术、消防工程技术等专业教学使用, 也可供从事以上专业的技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

建筑工程测量/李向民主编. —北京: 机械工业出版社, 2011. 1

全国高等职业教育示范专业规划教材. 建筑工程技术专业国家级精品课程配套教材

ISBN 978-7-111-32848-3

I. ①建… II. ①李… III. ①建筑测量 - 高等学校: 技术学校 - 教材
IV. ①TU198

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 254238 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: 覃密道 李俊玲 责任编辑: 覃密道 王靖辉

版式设计: 张世琴 责任校对: 李秋荣

封面设计: 鞠 杨 责任印制: 乔 宇

北京机工印刷厂印刷

2011 年 2 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 16.25 印张 · 402 千字

0 001—4 000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-32848-3

定价: 29.00 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

门户网: <http://www.cmpbook.com>

销售一部: (010) 68326294

教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售二部: (010) 88379649

读者服务部: (010) 68993821

封面无防伪标均为盗版

全国高等职业教育示范专业规划教材
建筑工程技术专业精品课程配套教材
编审委员会

首席顾问：杜国城 教授

主任委员：何 辉

副主任委员（按姓氏笔画排序）：

李宏魁 李俊玲 陈锡宝

徐 辉 黄珍珍 韩培江

委员：（按姓氏笔画排序）：

马守才 王存芳 王 辉 石立安 刘志宏 刘启顺 牟培超

孙华峰 李 林 李向民 李 燕 张 敏 张瑞红 陈 刚

陈 正 侯洪涛 郑惠虹 桑佃军 徐秀维 郭卫琳 殷凡勤

黄圣玉 宿 敏 夏玲涛 傅 敏 蔡伟庆

秘书：黄永焱 覃密道

序

我国高等职业教育正处于全面提升质量与加强内涵建设的重要阶段。近年来，随着国家、各省市的示范性高职院校建设、精品课程建设及教学成果奖评选等加强内涵建设工作的开展，形成了一大批符合教学需要、紧贴行业一线、突出工学结合、自身特色鲜明的示范专业和精品课程。这些成果的取得，不仅是高等职业教育内涵建设的阶段性成果，同时也是下一步发展的重要基础和有益经验。

机械工业出版社积极适应高等职业教育迅速发展的需要，从2000年开始出版高等职业教育土建类教材。经过几年的不懈努力，已形成专业覆盖面广、品种齐全、教学配套资源丰富的教材产品体系，在普通高等教育“十一五”国家级规划教材评选中，高职层次有50多种土建类教材入选，入选数量位居全国首位，为建设行业高素质人才培养做出了贡献，并以严谨的态度、过硬的质量、精细的编校、精美的装帧得到了高职院校师生的普遍认可。

为促进高等职业教育的内涵建设，进一步推动高等职业教育教材的发展，推广示范专业和精品课程建设的优秀成果，2008年7月，机械工业出版社组织召开了全国高等职业教育示范专业教材建设研讨会。会上成立了由全国20多所土建类重点院校组成的编审委员会，选聘了一批长期从事高等职业教育的具有双师素质的优秀教师和经验丰富的行业企业专家，启动了全国高等职业教育示范专业规划教材（建筑工程技术）的编写工作。本系列教材在整体规划中体现了高等职业教育“1221”模式下，理论教学和实践教学两个体系系统设计的思路；较好地贯彻了基础理论知识和实践相结合，重点是实践的指导思想。同时，本系列教材大多数为国家级、省级、教育部相关教学指导委员会认定的精品课程配套教材，是各学校示范专业建设成果的总结和升华，在内容和形式上均体现了示范性、创新性、适用性；同时，配套了丰富的教学资源，可以为教学提供全面的服务。

此系列教材的出版是为促进高等职业教育内涵建设，进一步提升人才培养质量，促进土建类专业发展和课程建设所做的一次开拓性尝试。相信本系列教材将为高等职业教育土建类专业建设和课程教学的改革发展起到积极的推动作用。

全国高职高专教育土建类专业教学指导委员会秘书长
土建施工类专业指导分委员会主任委员
杜国城

前 言

建筑工程项目在规划、设计、施工乃至使用的各个阶段，都需要进行测量工作。掌握建筑工程测量的知识与技能，是建筑工程技术、建筑工程管理、建筑设计技术、工程监理、工程造价、城镇规划、园林工程技术以及给排水工程技术等专业技术人员的基本要求。因此，在高职高专院校中，“建筑工程测量”一直是土建类专业的重要课程。为适应建筑工程测量技术的发展与要求，更好地满足教学需要，结合“建筑工程测量”国家精品课程的建设，我们编写了这本教材。

本书根据最新的测量规范编写，科学合理地组织教学内容，突出实用性和先进性，尽量反映各种主要施工方法对测量的要求，加大日趋普及的电子全站仪和激光测量仪器应用的篇幅，首次将计算机软件进行施工测量计算的内容引入书中，使较难掌握的导线计算、坐标计算、曲线计算和复杂建筑放样计算等问题得以轻松解决。

本书的内容与“建筑工程测量”国家精品课程网站一致，该网站的网址是 <http://219.159.83.86/Jpkc/jzgccl/index.php>，其具有内容丰富的网络多媒体课件及相关教学资源，包括大量的彩色图片、教学录像、练习测试、实训指导、实用软件和规范案例等，便于教师上课和学生学习，欢迎广大读者浏览和下载。本书另配有《建筑工程测量实训》教材，便于进行实践环节的教学。

本书由广西建设职业技术学院李向民任主编，具体编写分工为：单元1、单元2、单元3由河北石油职业技术学院李智慧编写，单元4、单元5由河南建筑职业技术学院王伟编写，单元6、单元7由广西建设职业技术学院蒋霖编写，单元8、单元9、单元10由李向民编写。

本书由浙江省第一测绘院总工程师杨一挺和浙江建设职业技术学院来丽芳任主审，两位专家精心审阅并提出了许多宝贵的意见，在此对他们表示衷心的感谢。在编写过程中，部分内容参考了有关文献，在此对文献作者表示诚挚的感谢。同时，还要感谢“全国高等职业教育示范专业规划教材、建筑工程技术专业精品课程配套教材”编审委员会主任何辉教授以及机械工业出版社的编辑，他们对本书也提出了许多很好的建议。

由于编者水平有限，书中可能存在不妥之处，恳请读者批评指正。

编 者

目 录

序	
前言	
单元 1 绪论	1
子单元 1 建筑工程测量的任务、内容、现状和发展	1
子单元 2 地面点位的确定	3
子单元 3 测量工作概述	8
单元小结	10
思考与拓展题	11
单元 2 水准测量	12
子单元 1 水准测量原理	12
子单元 2 水准测量的仪器和工具	13
子单元 3 水准仪的使用	16
子单元 4 水准测量方法	18
子单元 5 水准测量成果计算	21
子单元 6 水准仪的检验与校正	25
子单元 7 水准测量误差及注意事项	29
子单元 8 自动安平水准仪、精密水准仪和数字水准仪	31
单元小结	34
思考与拓展题	35
单元 3 角度测量	37
子单元 1 角度测量原理	37
子单元 2 经纬仪的构造	38
子单元 3 经纬仪的使用	41
子单元 4 水平角观测	44
子单元 5 垂直角观测	46
子单元 6 经纬仪的检验与校正	49
子单元 7 水平角测量误差与注意事项	53
子单元 8 电子经纬仪使用	55
单元小结	58
思考与拓展题	59
单元 4 距离测量与坐标测量	61
子单元 1 钢尺量距	61
子单元 2 视距测量	69
子单元 3 光电测距与全站仪使用	73

子单元 4 直线定向与坐标计算	80
子单元 5 全站仪坐标测量	84
单元小结	86
思考与拓展题	86
单元 5 控制测量	89
子单元 1 控制测量概述	89
子单元 2 导线外业测量	94
子单元 3 导线内业计算	97
子单元 4 高程控制测量	105
子单元 5 用计算机进行导线和高程的内业计算	110
子单元 6 GPS 卫星定位测量简介	114
单元小结	119
思考与拓展题	120
单元 6 地形图测绘与应用	122
子单元 1 地形图基本知识	122
子单元 2 经纬仪测图	131
子单元 3 全站仪数字测图	139
子单元 4 地形图的图上量测	143
子单元 5 地形图在工程建设中的应用	147
子单元 6 在计算机上数字地形图的应用	150
单元小结	153
思考与拓展题	154
单元 7 施工测量的基本工作	156
子单元 1 施工测量概述	156
子单元 2 测设的基本工作	157
子单元 3 测设平面点位的基本方法	166
子单元 4 全站仪测设方法	169
子单元 5 激光施工测量仪器的基本应用	172
单元小结	175
思考与拓展题	176
单元 8 建筑施工测量	178
子单元 1 建筑场区的施工控制测量	178
子单元 2 民用建筑施工测量	183
子单元 3 高层建筑施工测量	193
子单元 4 工业厂房施工测量	200
子单元 5 塔形构筑物施工测量	205
子单元 6 Auto CAD 在建筑施工测量中的应用	207
单元小结	210
思考与拓展题	211

单元 9 建筑变形测量与竣工总图编绘	213
子单元 1 建筑变形测量	213
子单元 2 竣工总图编绘	222
单元小结	224
思考与拓展题	225
单元 10 线路施工测量	226
子单元 1 中线测量	226
子单元 2 圆曲线测设	229
子单元 3 纵横断面测量	236
子单元 4 道路施工测量	241
子单元 5 管道施工测量	246
子单元 6 用计算机进行曲线放样数据计算	248
单元小结	249
思考与拓展题	250
参考文献	252

单元1 绪论

能力目标:

1. 了解测量的定义和建筑工程测量的主要任务。
2. 掌握确定地面点位的基准面、基准线以及平面直角坐标系和高程系统,熟悉测量工作的基本程序及基本原则。

学习重点与难点:

重点是地面点位的确定,难点是高斯平面直角坐标系。

子单元1 建筑工程测量的任务、内容、现状和发展

1.1.1 测量概述

测量是确定地球的形状和大小以及确定地面点之间的相对位置的技术。测量工作主要分为两个方面,一是将各种现有地面物体的位置和形状,以及地面的起伏形态等,用图形或数据表示出来,为规划设计和管理工作提供依据,称为测定或测绘;二是将规划设计和管理工作形成的图纸上的建筑物、构筑物或其他图形的位置在现场标定出来,作为施工的依据,称为测设或放样。

测量根据其所涉及的对象、方式、手段及其自身发展形成的特色,可分为大地测量、普通测量、摄影测量、海洋测量和工程测量等。大地测量是测定地球的形状和大小,在广大地区建立国家大地控制网等方面的技术和方法,为测量学的其他分支提供基础测量数据和资料。普通测量是在较小区域内的测量工作,主要是指用地面作业方法,将地球表面局部地区的地物和地貌测绘成地形图,由于测区范围较小,为方便起见,可以不顾及地球曲率的影响,把地球表面当作平面对待。摄影测量是用摄影或遥感技术来测绘地形图,其中的航空摄影测量是测绘国家基本地形图的主要方法,目前在测绘城市基本地形图方面也有应用。海洋测量是指测量地球表面水体及水下地貌,目前在军事、跨海工程、码头建设等方面有应用。工程测量是各项工程建设在规划设计、施工放样和运营管理阶段所进行的各种测量工作,它综合应用上述其他各测量分支的技术与方法,为工程建设提供测绘保障。例如,在规划设计阶段应用普通测量或摄影测量测绘大比例尺地形图,施工放样阶段应用大地测量仪器和方法建立准确的定位控制网等。在不同的工程建设项目上,工程测量的技术和方法有很大的区别。

1.1.2 建筑工程测量的任务与内容

建筑工程测量属于工程测量的范畴，是工程测量在建筑工程施工领域中的具体表现，对象主要是多层民用建筑、高层建筑和工业建筑，也包括道路和管线等配套工程。

1. 大比例尺地形图测绘

在规划设计阶段，应测绘建筑工程所在地区的大比例尺地形图，以便详细地表达地物和地貌的现状，为规划设计提供依据。在施工阶段，有时需要测绘更详细的局部地形图，或者根据施工现场变化的需要，测绘反映某施工阶段现状的地形图，作为施工组织管理和土方等工程量预、结算的依据。在竣工验收阶段，应测绘编制全面反映工程竣工时所有建筑物、道路、管线和园林绿化等方面现状的竣工总图，为验收以及今后的运营管理工作提供依据。

2. 施工测量

在施工阶段，无论是基础工程、主体工程还是装饰工程，都要先进行放样测量，确定建筑物不同部位的实地位置，并用桩点或线条标定出来，才能进行施工。例如，基础工程的基槽（坑）开挖施工前，先将图纸上设计好的建筑物的轴线标定到地面上，并引测到开挖范围以外保护起来，再放样出开挖边线和一层室内地面的设计标高线，才能进行开挖；主体工程的墙砌体施工前，先将墙轴线和边线在楼（地）面上弹出来，并立好高度标志，才能进行砌筑；装饰工程的墙（地）面砖施工时，先将纵横分缝线和水平标高线弹出来，才能进行铺装。每道工序施工完成后，还要及时对施工构件的尺寸、位置和标高进行检核测量，作为检查、验收和竣工资料的依据。

3. 变形观测

对一些大型的、重要的或位于不良地基上的建筑物，在施工阶段和运营管理期间，要定期进行变形观测，以监测其稳定性。建筑物的变形一般有沉降、水平位移、倾斜和裂缝等，通过测量掌握这些变形的出现、发展和变化规律，使人们能及时地针对变形建筑物的变形状态进行有效处理，对减少因建筑物变形而造成的损失和保证建筑物的安全有重要作用。

1.1.3 建筑工程测量的现状与发展方向

建筑业是我国的支柱产业之一，在建筑业的发展过程中，建筑工程测量为其做出了应有的贡献，同时，建筑工程测量的技术水平也得到了很大的提高。目前，除常规测量仪器工具（如光学经纬仪、光学水准仪和钢尺等）在建筑工程测量中继续发挥作用外，现代的光电测量仪器（如电子经纬仪、电子全站仪和电子水准仪等）也正逐渐普及，提高了测量工作的速度、精度、可靠度和自动化程度。一些专用激光测量仪器设备，如用于高层建筑竖直投点的激光铅直仪、用于大面积场地精确自动找平的激光扫平仪和用于地下开挖指向的激光经纬仪等的应用，为现代高大建筑和地下建筑的施工提供了更高效、准确的测量技术服务。卫星定位测量技术如全球定位系统（GPS）等，也逐渐被应用于建筑工程测量中，该技术作业时不受气候、地形和通视条件的影响，只需将卫星接收机安置在待定点上，接收卫星信号，就可测量出该点的三维坐标，这与传统测量技术相比是质的飞跃，目前在建筑工程测量中，一般用于大范围 and 长距离施工场地中的控制性测量工作。计算机技术正在应用到测量数据处理、地形图测绘以及测量仪器自动控制等方面，进一步推动建筑工程测量从手工方式往电子化、数字化、自动化和智能化方向发展。

子单元 2 地面点位的确定

地面点位的确定是指以某种技术过程确定地面点的位置。建筑工程测量与其他测量工作一样，其本质任务是地面点位的确定，因为地球表面上的地物和地貌的形状即使再复杂，也可以认为是由点、线、面构成的，其中点是最基本的单元，合理选择一些点进行测量，就可以准确地表示出地物和地貌的位置、形状和大小。因此，地面点位的确定是测量工作最基本的问题。

1.2.1 地球的形状与大小

为了确定地面点位，应有相应的基准面和基准线作为依据。测量工作是在地球表面上进行的，测量的基准面和基准线与地球的形状和大小有关。

如图 1-1 所示，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平面达 8844.43m，而最低的马里亚纳海沟低于海平面达 11034m。但是这样的高低起伏，相对于地球巨大的半径来说还是很小的。再顾及到海洋约占整个地球表面的 71%，人们设想有一个静止的海平面，向陆地延伸包围整个地球，形成一个封闭的曲面，把这个曲面看作地球的体形。由于潮汐的作用，海平面的高度经常是不同的，假定其中有一个平均高度的静止海平面，则它所包围的形体称为大地体，代表了地球的形状与大小。我们把这个平均高度的静止海平面称为大地水准面，大地水准面便是测量工作的基准面。

此外，我们把任意静止的水面称为水准面，水准面有无数个，由于水准面与大地水准面平行，实际工作中也把水准面作为测量的基准面。例如，将液体充入到密封的特制玻璃容器中，并留一个气泡，便形成了用来衡量物体表面是否水平的水准器，若放在某物体表面上的水准器中的气泡居中，则认为该物体表面处于水平状态。每台测量仪器上一般都安装一个以上的水准器，为有关的测量工作提供基准面。

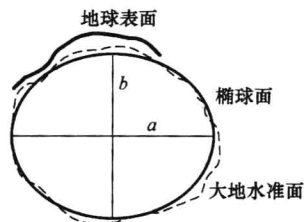


图 1-1 大地水准面

由于地球的质量巨大，使得地球上任何一点都要受到地心吸引力的作用，同时地球又不不停地作自转运动，这个点又受到离心力的作用，这两个力的合力称为重力，重力的作用线又称为铅垂线。铅垂线具有处处与水准面垂直的特性，因此把铅垂线作为测量工作的基准线。在日常生活和工作中，常利用这个原理，用吊锤线检查物体是否竖直，测量仪器一般也备有吊锤，供需要时使用，一些测量仪器利用铅垂线原理进行自动安平。

用大地水准面表示地球体形是恰当的，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非常复杂的曲面，而无法在这个曲面上进行测量数据处理。为此，采用一个与大地水准面非常接近的规则几何曲面来表示地球的形状与大小，即地球参考椭球面，其可作为测量计算工作的基准面，如图 1-2 所示。地球参考椭球面的形状与大小由其长半径 a 和短半径 b （或扁率 α ）决定。我国在 1980 年西安坐标系采用的椭球参数为 1975 年国际大地测量

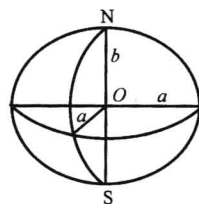


图 1-2 参考椭球面

与地球物理联合会通过并推荐的值:

$$a = 6378140\text{m}$$

$$b = 6356755\text{m}$$

$$\alpha = \frac{a-b}{a} = \frac{1}{298.257}$$

由于地球椭球的扁率很小, 当测区面积不大时, 可以把地球看做是圆球, 其半径为:

$$R = \frac{2a+b}{3}$$

即 6371km, 以圆球作为测量计算工作的基准面可以简化计算过程。当测区面积更小时 (半径小于 20km 的圆范围), 还可以把地球看做是平面, 使计算工作更为简单。

1.2.2 确定地面点位的方法

从数学中知道, 一点的空间位置需要用三个独立的量来确定。在测量工作中, 这三个量通常用该点在参考椭球面上的铅垂投影位置和该点沿投影方向到大地水准面的距离来表示。其中前者由两个量构成, 称为坐标; 后者由一个量构成, 称为高程。也就是说, 用坐标和高程来确定地面点的位置。

1. 地面点在投影面上的坐标

(1) 大地坐标 地面点在参考椭球面上投影位置的坐标, 可以用大地坐标系的经度和纬度表示。如图 1-3 所示, O 为地球参考椭球面的中心, N 、 S 为北极和南极, NS 为旋转轴, 通过旋转轴的平面称为子午面, 它与参考椭球面的交线称为子午线, 其中通过英国格林尼治天文台的子午线称为首子午线。通过 O 点并且垂直于 NS 轴的平面称为赤道面, 它与参考椭球面的交线称为赤道。



图 1-3 大地坐标

地面点 P 的经度, 是指过该点的子午面与首子午面之间的夹角, 用 L 表示, 经度从首子午线起算, 往东 $0^\circ \sim 180^\circ$ 称为东经, 往西 $0^\circ \sim 180^\circ$ 称为西经。地面点 P 的纬度, 是指过该点的法线与赤道面间的夹角, 用 B 表示, 纬度从赤道面起算, 往北 $0^\circ \sim 90^\circ$ 称为北纬, 往南 $0^\circ \sim 90^\circ$ 称为南纬。我国位于地球上的东北半球, 因此所有点的经度和纬度均为东经和北纬, 如北京某点的大地坐标为东经 $113^\circ 18'$, 北纬 $23^\circ 07'$ 。

(2) 高斯平面直角坐标系 对测量计算与绘图来说, 建立在椭球面上的大地坐标系是不太方便的, 高斯平面直角坐标系是将地球参考椭球面按经线划分成若干条带, 把每条带按高斯提出的投影理论投影到平面上, 然后在此平面上建立平面直角坐标系, 使测量计算与绘图变得容易。

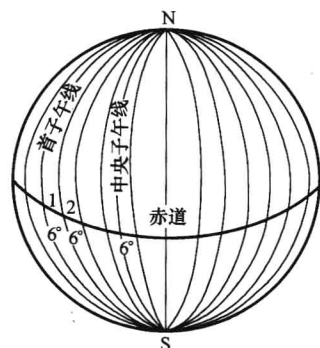


图 1-4 高斯投影分带

如图 1-4 所示, 分带是从地球参考椭球面的首子午线起, 经度每变化 6° 划一带 (称为 6° 带), 自西向东将整个地球划分为 60 条带。

带号从首子午线开始自西向东编,如图 1-5 所示,用阿拉伯数字 1, 2, 3, …, 60 表示,东经 $0^{\circ} \sim 6^{\circ}$ 为第一带, $6^{\circ} \sim 12^{\circ}$ 为第二带, ……, 位于各带中央的子午线称为该带的中央子午线, 第一带的中央子午线的经度为 3° , 第二带的中央子午线的经度为 9° , 依此类推, 第 N 带的中央子午线的经度 L_0 为:

$$L_0 = 6N - 3^{\circ}$$

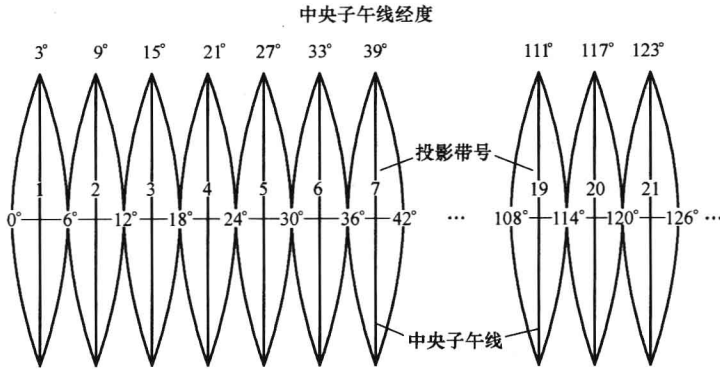


图 1-5 6°分带的带号及中央子午线

高斯投影是设想用一个平面卷成一个空心圆柱, 把它横着套在地球参考椭球体外面, 使空心圆柱的中心轴线位于赤道面内并且通过球心, 使地球参考椭球体上某条 6° 带的中央子午线与圆柱面相切。在图形保持等角的条件下, 将整个带投影到圆柱面上, 如图 1-6a 所示。然后将此圆柱沿着南北极的母线剪切并展开抚平, 便得到 6° 带在平面上的形象, 如图 1-6b 所示。由于分带很小, 投影后的形象变形也很小, 离中央子午线越近, 变形就越小。

在由高斯投影而成的平面上, 中央子午线和赤道保持为直线, 两者互相垂直。以中央子午线为坐标系纵轴 x , 以赤道为横轴 y , 其交点为 O , 便构成此带的高斯平面直角坐标系, 如图 1-6b 所示。在这个投影面上的每一点位置, 都可用直角坐标 x 、 y 确定。此坐标与大地坐标的经纬度 L 、 B 是对应的, 它们之间有严密的数学关系, 可以互相换算。

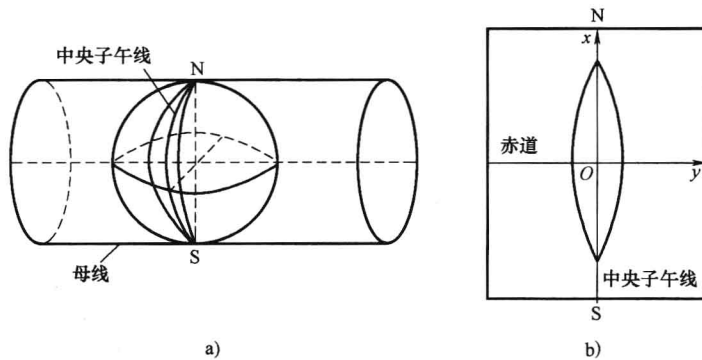


图 1-6 高斯平面直角坐标的投影

我国位于北半球, x 坐标均为正值, 而 y 坐标则有正有负, 为避免 y 坐标出现负值, 规定把 x 轴向西平移 500km, 如图 1-7 所示。此外, 为表明某点位于哪一个 6° 带的高斯平面直角坐标系, 又规定 y 坐标值前加上带号。例如某点坐标为

$$x = 3267851\text{m}$$

$$y = 21587366\text{m}$$

表示该点位于第 21 个六度带上，距赤道 3267851m，距中央子午线 87366m（去掉带号后的 y 坐标减 500000m，若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。）

高斯投影能使球面图形的角度与投影在平面上的角度一致，但任意两点间的长度投影后会产生变形，离中央子午线越远，变形越大。在投影精度要求较高时，可以把投影带划分再小一些，例如采用 3° 分带，全球共分为 120 条带，第 N 带的中央子午线经度为

$$L_0 = 3N^\circ$$

如果投影精度要求更高，还可以采用 1.5° 分带。 1.5° 分带不必全球统一划分，可以将中央子午线的经度设置在测区的中心，因此也称为任意分带。

(3) 独立平面直角坐标系 当测量区域较小时，球面近似于平面，可以直接用与测区中心点相切的平面来代替曲面，然后在此平面上建立一个平面直角坐标系。由于它与大地坐标系没有联系，故称为独立平面直角坐标系，有时也叫做假定平面直角坐标系。

如图 1-8 所示，独立平面直角坐标系与高斯平面直角坐标系一样，规定南北方向为纵轴 x ，东西方向为横轴 y ； x 轴向北为正，向南为负， y 轴向东为正，向西为负。地面上某点 A 的位置可用 x_A 和 y_A 来表示。独立平面直角坐标系的原点 O 一般选在测区的西南角以外，使测区内所有点的坐标均为正值。

值得注意的是，为了定向方便，测量上的平面直角坐标系与数学上的平面直角坐标系的规定不同， x 轴与 y 轴互换，象限的顺序也相反。不过，因为轴向与象限顺序同时都改变，测量坐标系的实质与数学上的坐标系是一致的，因此数学中的公式可以直接应用到测量计算中，不需作任何变更。

(4) 建筑坐标系 在建筑工程中，有时为了便于对建（构）筑物平面位置的施工放样，将原点设在建（构）筑物两条主轴线（或其平行线）的交点上，以其中一条主轴线（或其平行线）作为纵轴，一般用 A 表示，顺时针旋转 90° 方向作为横轴，一般用 B 表示，建立一个平面直角坐标系，称为建筑坐标系，如图 1-9 所示。

将建筑坐标系与高斯平面直角坐标系连测后，可以计算出建筑坐标系的原点相对于高斯平面直角坐标系的坐标值，以及建筑坐标系的纵轴与高斯平面直角坐标系纵轴之间的角度，根据这些参数，可以在这两个坐标系之间进行点位坐标换算。

将建筑坐标系与高斯平面直角坐标系连测后，可以计算出建筑坐标系的原点相对于高斯平面直角坐标系的坐标值，以及建筑坐标系的纵轴与高斯平面直角坐标系纵轴之间的角度，根据这些参数，可以在这两个坐标系之间进行点位坐标换算。

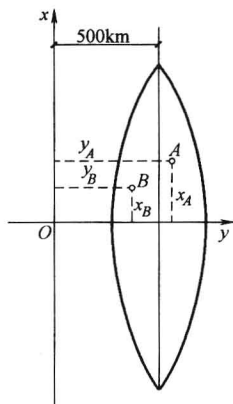


图 1-7 高斯平面直角坐标系

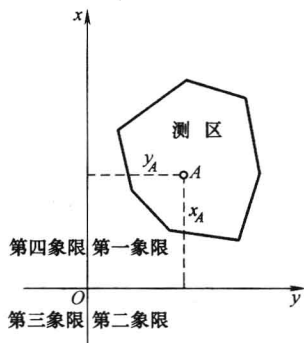


图 1-8 独立平面直角坐标系

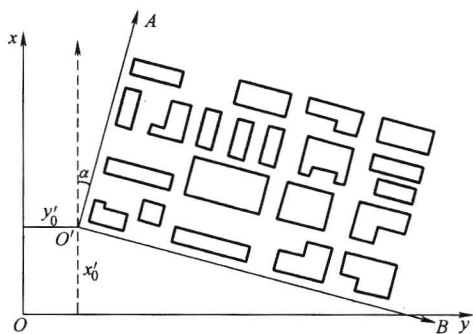


图 1-9 建筑坐标系

2. 地面点的高程

(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, 或称海拔, 习惯用 H 表示。如图 1-10 所示, 地面点 A 、 B 的高程分别为 H_A 、 H_B 。数值越大表示地面点越高, 当地面点在大地水准面的上方时, 高程为正; 反之, 当地面点在大地水准面的下方时, 高程为负。我国在青岛设立验潮站, 长期观测和记录黄海海水面的高低变化, 取其平均值作为大地水准面的位置, 其高程为零, 过该点的大地水准面即为我国计算高程的基准面。为了便于观测和使用, 在青岛建立了我国的水准原点, 其高程为 72.260m, 全国各地的高程都以它为基准进行测算, 其称为 1985 国家高程基准, 也称为黄海高程系统。

(2) 相对高程 当有些地区引用绝对高程有困难时, 或者为了计算和使用上的方便, 可采用相对高程系统。相对高程是采用假定的水准面作为起算高程的基准面, 地面点到该水准面的铅垂距离叫做该点的相对高程。由于高程基准面是根据实际情况假定的, 故相对高程有时也称为假定高程。如图 1-10 所示, 地面点 A 、 B 的相对高程分别为 H'_A 和 H'_B 。

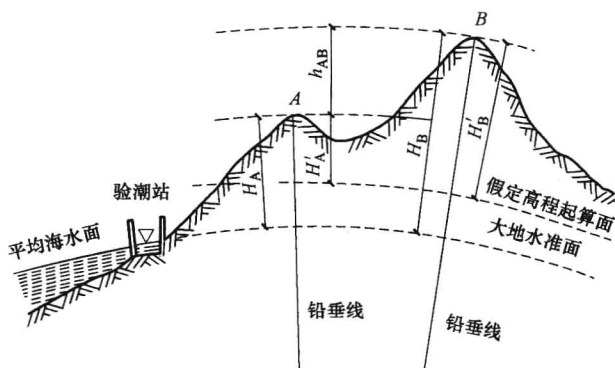


图 1-10 高程和高差

相对高程系统与黄海高程系统连

测后, 可以推算出相对高程系统所对应的假定水准面的绝对高程, 进而可以把地面点的相对高程换算成绝对高程, 也可把地面点的绝对高程换算成相对高程。如图 1-10 所示, 若假定水准面的绝对高程为 H_0 , 则地面点 A 的换算关系为:

$$H'_A = H_A - H_0$$

$$H_A = H'_A + H_0$$

(3) 高差 两个地面点之间的高程差称为高差, 习惯用 h 来表示。高差有方向性和正负, 但与高程基准无关。如图 1-10 所示, A 点至 B 点的高差为:

$$h_{AB} = H_B - H_A = H'_B - H'_A$$

当 h_{AB} 为正时, B 点高于 A 点; 当 h_{AB} 为负时, B 点低于 A 点。同时不难证明, 高差的方向相反时, 其绝对值相等而符号相反, 即:

$$h_{AB} = -h_{BA}$$

用平面代替曲面作为高程的起算面, 对高程的影响是很大的, 例如距离 200m 时, 就有 3mm 的误差, 超过了允许的精度要求。因此, 高程的起算面不能用切平面代替, 应使用大地水准面。如果测区内没有国家高程点, 也应采用通过测区内某点的水准面作为高程起算面。

1.2.3 确定地面点位的基本测量工作

地面点位可以用它在投影面上的坐标和高程来确定, 但在实际工作中一般不是直接测量坐标和高程, 而是通过测量地面点与已知坐标和高程的点之间的几何关系, 经过计算间接地得到坐标和高程。

如图 1-11 所示, M 和 N 是已知坐标点, 它们在水平面上的投影位置为 m 、 n , 地面点

A 、 B 是待定点，它们在水平面上的投影位置为 a 、 b 。若观测了水平角 β_1 、水平距离 D_1 ，可用三角函数计算出 a 点的坐标，同理，若又观测了水平角 β_2 和水平距离 D_2 ，则可计算出 b 点的坐标。

在测绘地形图时，也可不计算坐标，在图上直接用用量角器根据水平角 β_1 做出 m 点至 a 点的方向线，在此方向线上根据距离 D_1 和一定的比例尺，即可定出 a 点的位置，同理可在图上定出 b 点的位置。

因此，水平角测量和水平距离测量是确定地面点坐标或平面位置的基本测量工作。

若 M 点的高程已知为 H_M ，观测了高差 h_{MA} ，则可利用高差计算公式转换后计算出 A 点的高程：

$$H_A = H_M + h_{MA}$$

同理，若观测了高差 h_{AB} ，可计算出 B 点的高程。

因此可以说高差测量是确定地面点高程的基本工作，由于高差测量的目的是求取高程，习惯上仍称其为高程测量。

综上所述，地面点间的水平角、水平距离和高差是确定地面点位的三个基本要素，因此把水平角测量、水平距离测量和高程测量称为确定地面点位的三项基本测量工作。

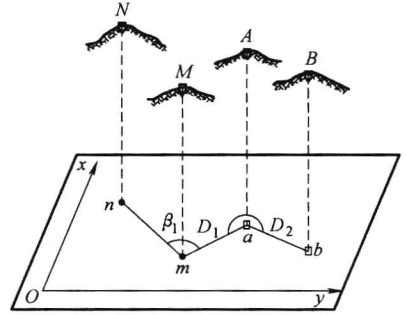


图 1-11 基本测量工作

知识链接 水平面代替水准面的限度

当测区较小或工程对测量精度要求较低时，可用平面代替水准面，直接把地面点投影到平面上，以确定其位置。但是以平面代替水准面有一定的限度，只要投影后产生的误差不超过测量限差即可。

如图 1-12 所示，在测区中选一点 A ，沿垂线投影到水平面 P 上为 a ，过 a 点作切平面 P' ，地面上 A 、 B 两点投影到水准面上的弧长为 D ，在水平面上的距离为 D' ，距离误差 $\Delta D = D' - D$ ，高程误差 $\Delta h = b' - b$ 。

计算可知，当 D 为 20km 时，距离误差仅为三十万分之一，对普通测量来说可以忽略不计。在此，对平面位置而言，在半径为 20km 的范围内可以用水平面代替水准面。

水平面代替水准面对高程的影响，当 D 为 200m 时，高程误差就有 3.1mm。所以地球曲率对高程影响很大，在高程测量中即使距离很短也应顾及地球曲率的影响。

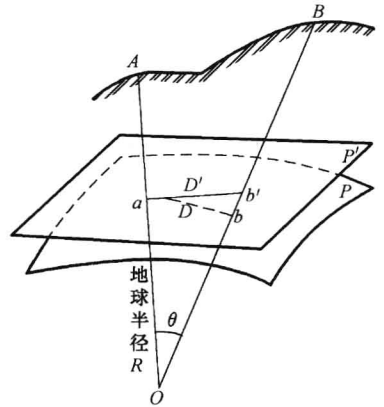


图 1-12 水平面代替水准面

子单元 3 测量工作概述

如前所述，测量的主要工作是测定和测设。具体来说，测量工作通过水平角测量、水平距离测量以及高程测量确定点的位置。一定数量点的组合，表示出地物和地貌的位置形状与