



全国高等院校土建类专业实用型规划教材

# 工程测量

GONGCHENG CELIANG

赵喜江 主编



中国电力出版社

[www.cepp.com.cn](http://www.cepp.com.cn)

全国高等院校土建类专业实用型规划教材

# 工程测量

主 编 赵喜江  
副主编 徐广翔 杜继亮  
参 编 李映东 尹锦明 马福义



中国电力出版社

[www.cepp.com.cn](http://www.cepp.com.cn)

全书共 13 章,第 1~5 章分别为绪论、水准测量、角度测量、距离测量与直线定向、测量误差的基本知识;第 6~9 章介绍了控制测量、地形图的基本知识、地形图测绘、全站仪与数字化测图;第 10~13 章为施工测量部分,着重介绍了施工测量的基本工作、建筑施工测量、线路测量、管道工程测量;附录部分精编了相关专业的实验实习,供师生教学时依据大纲要求选择。为满足教学需要每章后均附有复习思考题。

本书适合作为普通高等院校土木工程专业、交通土建专业、工程管理专业等专业的教材,还可作为上述专业的函授、自学、成人教育教材,也可供相关专业工程技术人员参考。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

工程测量/赵喜江主编. —北京:中国电力出版社, 2010

全国高等院校土建类专业实用型规划教材

ISBN 978-7-5123-0511-3

I. ①工… II. ①赵… 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 (2010) 第 107818 号

中国电力出版社出版发行

北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>

责任编辑:未翠霞 关 童 电话:010-58383245

责任印制:郭华清 责任校对:郝军燕

北京市同江印刷厂印刷·各地新华书店经售

2010 年 8 月第 1 版·第 1 次印刷

印数:0001~3000 册

787mm×1092mm 1/16·18.25 印张·441 千字

定价:36.00 元

### 敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

本社购书热线电话 (010-88386685)

# 前 言

本书为《全国高等院校土建类专业实用型规划教材》系列教材之一，编写定位为非研究型的，与新规范相结合的实用型教材。全书在内容取舍上，力求知识体系完整，内容简练，在系统介绍测量基本理论、基本知识的基础上，注重学生实践能力的培养，突出理论联系实际。在结构安排上注重思维方式和实践操作技能的循序渐进。在学生知识积累、素质提高、能力培养上，依据测绘科学的发展和相关专业对测量知识和技能把握的需求，适量引入了测绘新仪器、新技术、新方法，精编了数量合适的习题、实验实习内容，突出工程背景和案例教学，进一步加大了信息量。

全书共13章，第1~5章分别为绪论、水准测量、角度测量、距离测量与直线定向、测量误差的基本知识；第6~9章介绍了控制测量、地形图的基本知识、地形图测绘、全站仪与数字化测图；第10~13章为施工测量部分，着重介绍了施工测量的基本工作、建筑施工测量、线路测量、管道工程测量；附录部分精编了相关专业的实验实习供师生教学时依据大纲要求选择。为满足教学需要每章后均附有复习思考题。

本书由黑龙江科技学院赵喜江教授担任主编，山西大同大学徐广翔副教授、黑龙江科技学院杜继亮副教授担任副主编，南京工程学院李映东老师、南京理工大学泰州科技学院尹锦明老师、黑龙江科技学院马福义老师参加编写。具体编写分工：第1章、第13章和附录由赵喜江编写，第2章、第3章、第5章由徐广翔编写，第4章、第6章由杜继亮编写，第7章、第8章由马福义编写，第9章、第11章由李映东编写，第10章、第12章由尹锦明编写。全书由赵喜江统稿。

本书在组织编写过程中得到了黑龙江科技学院邢世海教授的大力支持，对于内容的精炼和选择提出了宝贵建议，在此深表感谢。

由于编者水平有限，加之时间仓促，书中难免存在一些疏漏、不妥乃至错误之处，敬请广大读者批评指正。

编 者

# 目 录

## 前言

|                              |    |
|------------------------------|----|
| <b>第 1 章 绪论</b> .....        | 1  |
| 1.1 测量学的任务及其在工程建设中的作用 .....  | 1  |
| 1.2 测量学发展简史 .....            | 2  |
| 1.3 地面点位置的确定 .....           | 3  |
| 1.4 水平面代替水准面的限度 .....        | 8  |
| 1.5 测量工作概述 .....             | 9  |
| 复习思考题 .....                  | 11 |
| <b>第 2 章 水准测量</b> .....      | 13 |
| 2.1 水准测量原理.....              | 13 |
| 2.2 水准测量的仪器和工具.....          | 14 |
| 2.3 水准仪的使用.....              | 15 |
| 2.4 水准测量方法.....              | 17 |
| 2.5 水准测量内业.....              | 22 |
| 2.6 微倾式水准仪的检验及校正.....        | 26 |
| 2.7 水准测量误差及消减办法.....         | 29 |
| 2.8 自动安平水准仪和电子水准仪.....       | 32 |
| 复习思考题 .....                  | 35 |
| <b>第 3 章 角度测量</b> .....      | 37 |
| 3.1 角度测量原理.....              | 37 |
| 3.2 光学经纬仪.....               | 38 |
| 3.3 水平角观测.....               | 42 |
| 3.4 竖直角观测.....               | 47 |
| 3.5 经纬仪的检验和校正.....           | 50 |
| 3.6 角度测量误差.....              | 52 |
| 3.7 电子经纬仪及其使用.....           | 54 |
| 复习思考题 .....                  | 56 |
| <b>第 4 章 距离测量与直线定向</b> ..... | 59 |
| 4.1 钢尺量距.....                | 59 |
| 4.2 视距测量.....                | 65 |
| 4.3 光电测距.....                | 68 |
| 4.4 直线定向.....                | 74 |
| 复习思考题 .....                  | 78 |

|                        |     |
|------------------------|-----|
| 第5章 测量误差的基本知识 .....    | 80  |
| 5.1 测量误差的来源与分类 .....   | 80  |
| 5.2 观测值的算术平均值 .....    | 83  |
| 5.3 评定精度的标准 .....      | 84  |
| 5.4 误差传播定律 .....       | 88  |
| 复习思考题 .....            | 91  |
| 第6章 控制测量 .....         | 93  |
| 6.1 控制测量概述 .....       | 93  |
| 6.2 导线测量 .....         | 95  |
| 6.3 小三角测量与交会定点测量 ..... | 104 |
| 6.4 高程控制测量 .....       | 109 |
| 6.5 全球卫星定位技术简介 .....   | 111 |
| 复习思考题 .....            | 118 |
| 第7章 地形图的基本知识 .....     | 120 |
| 7.1 地形图的比例尺 .....      | 120 |
| 7.2 地形图的分幅和编号 .....    | 122 |
| 7.3 地形图符号 .....        | 125 |
| 7.4 地形图的识读 .....       | 133 |
| 7.5 地形图的基本应用 .....     | 134 |
| 复习思考题 .....            | 142 |
| 第8章 地形图测绘 .....        | 144 |
| 8.1 测图前的准备工作 .....     | 144 |
| 8.2 地形图测绘方法简介 .....    | 146 |
| 8.3 经纬仪测图方法 .....      | 148 |
| 8.4 大平板仪测图 .....       | 151 |
| 8.5 小平板仪与经纬仪联合测图 ..... | 153 |
| 8.6 地物地貌测绘 .....       | 154 |
| 8.7 地形图绘制 .....        | 158 |
| 8.8 地籍测量简介 .....       | 160 |
| 复习思考题 .....            | 163 |
| 第9章 全站仪与数字化测图 .....    | 164 |
| 9.1 全站仪及其使用 .....      | 164 |
| 9.2 全野外数据采集 .....      | 170 |
| 9.3 数字化测图方法 .....      | 174 |
| 复习思考题 .....            | 179 |
| 第10章 施工测量的基本工作 .....   | 180 |
| 10.1 施工测量概述 .....      | 180 |
| 10.2 测设的基本工作 .....     | 181 |

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 10.3 测设点的平面位置·····          | 185 |
| 复习思考题·····                  | 188 |
| <b>第 11 章 建筑施工测量</b> ·····  | 189 |
| 11.1 建筑场地的施工控制测量·····       | 189 |
| 11.2 民用建筑施工中的测量工作·····      | 192 |
| 11.3 工业厂房构件的安装测量·····       | 195 |
| 11.4 高层建筑物施工测量·····         | 197 |
| 11.5 激光定位技术的应用·····         | 198 |
| 11.6 竣工总平面图的编绘·····         | 202 |
| 复习思考题·····                  | 204 |
| <b>第 12 章 线路测量</b> ·····    | 205 |
| 12.1 线路初测·····              | 205 |
| 12.2 线路纵横断面测量·····          | 206 |
| 12.3 曲线测量·····              | 209 |
| 12.4 线路施工测量·····            | 212 |
| 12.5 桥涵施工测量·····            | 216 |
| 复习思考题·····                  | 219 |
| <b>第 13 章 管道工程测量</b> ·····  | 221 |
| 13.1 管道工程测量概述·····          | 221 |
| 13.2 管道中线测量·····            | 221 |
| 13.3 管道纵横断面图测量·····         | 223 |
| 13.4 管道施工测量·····            | 226 |
| 13.5 顶管施工测量·····            | 227 |
| 13.6 管道竣工测量·····            | 228 |
| 复习思考题·····                  | 228 |
| <b>附录</b> ·····             | 230 |
| 附录 1 提高测量实践能力的有效途径 ·····    | 230 |
| 附录 2 工程测量实践环节的技术及管理要求 ····· | 231 |
| 附录 3 工程测量基础实验 ·····         | 234 |
| 附录 4 工程测量教学实习 ·····         | 269 |
| <b>参考文献</b> ·····           | 282 |

# 第1章

## 绪论

本章主要讲述测量学的任务、测量学的发展历史、地面点位的确定以及测量工作的基本概念等内容。重点掌握地面点位的确定方法，理解测量学基本概念的内涵。

### 1.1 测量学的任务及其在工程建设中的作用

测量学 (Surveying) 是研究地球形状和大小，以及确定地面点 (包含空中、地下和海底) 点位的科学。主要内容包括测定和测设两部分。测定是指使用仪器和工具，通过测量和计算获得一系列地面点的测量数据直接作为成果，或者把采集的地面图形信息缩绘成地图。这些成果可供科学研究、工程建设与管理、城市管理、资源管理和国防建设使用。测设是指把各种设计图纸上规划或设计好的建 (构) 筑物位置标定在地面上，作为施工依据。

测量学随着科学技术进步和生产力的发展，按其研究的侧重、应用的领域和服务的对象不同产生了许多分支科学：

(1) 大地测量学 (Geodesy) 是研究和确定地球形状、大小、重力场、整体与局部运动和地表面点的几何位置以及它们的变化的理论和技术的学科。其基本任务是建立国家大地控制网，测定地球的形状、大小和重力场，为地形测图和各种工程测量提供基础起算数据；为空间科学、军事科学及研究地壳变形、地震预报等提供重要资料。按照测量手段的不同，大地测量学又分为常规大地测量学、卫星大地测量学及物理大地测量学等。

(2) 工程测量学 (Engineering surveying) 是研究各种工程建设在勘测、设计、施工和管理阶段中所进行的一系列测量工作的理论和方法的学科。

地形测量学 (Topographic surveying) 是研究如何将地球表面局部区域内的地物、地貌及其他有关信息测绘成地形图的理论、方法和技术的学科。按测绘方式的不同地形测图可分为模拟化测图和数字化测图。

(3) 摄影测量与遥感 (Photogrammetry and remote sensing) 是研究利用电磁波传感器获取目标物的影像数据，从中提取语义和非语义信息，并用图形、图像和数字形式表达目标物的形态和特征的学科。其基本任务是通过摄影像片或遥感图像进行处理、量测、解译，以测定物体的形状、大小和位置进而制作成图。根据获得影像的方式及遥感距离的不同，又可分为地面摄影测量学、航空摄影测量学和航天遥感测量等。

(4) 地图制图学 (Cartography) 是研究模拟和数字地图的基础理论、设计、编绘、复制的技术、方法以及应用的学科。它的基本任务是利用各种测量成果编制各类地图，其内容一般包括地图投影、地图编制、地图整饰和地图制印等分支。



测量学在工程建设中的作用：勘测设计阶段需提供各种比例尺的地形图（或带状地形图），供城镇建设或工程项目规划选址、管网及道路的选线以及总平面图设计和竖向设计使用。在施工阶段要将规划设计的建筑物、构筑物的平面位置和高程测设到实地指导施工。施工结束后要进行竣工测量，绘制竣工图，供日后扩建、维修和日常管理使用。大型重要建筑物在施工期间或竣工后因自重和外力的作用而产生下沉变形，如大坝可能位移、高层建筑物可能倾斜，为保证建设和使用安全，需要按照行业技术要求的规定监测建筑物的变形量和变形速度，为此要使用自动化的监测和记录的仪器。

本课程具有很强的实践性，学习中应该在弄清基本概念、基本理论的基础上，通过课堂学习、作业、实验、实习，使学生掌握工程测量的基础理论、基本技能，掌握常规测量仪器的操作技能和工程测量基本方法，了解测绘新技术在建筑工程施工测量中的应用，在测绘地形图、地形图应用和建筑工程施工测量等方面得到系统的基础训练，具备正确使用常规测量仪器和工程测量的技术和方法进行施工测量的基本能力。

## 1.2 测量学发展简史

早在两千多年前的夏商时代，为了治水我国已开始了水利工程测量工作。司马迁在《史记》中对夏禹治水有这样的描述：“陆行乘车，水行乘船，泥行乘橇，山行乘攀，左准绳，右规矩，载四时，以开九州，通九道，陂九泽，度九山”。这段话所记录的是当时的工程勘测情景，准绳和规矩就是当时所用的测量工具，准是可找平的水准器，绳是丈量距离的工具，规是画圆的器具，矩则是一种可定平、测长度、高度、深度和画圆画矩形的通用测量仪器。早期的水利工程多为河道的疏导，以利防洪和灌溉，其主要的测量工作是确定水位和堤坝的高度。秦代李冰父子领导修建的都江堰水利枢纽工程，曾用一个石头人来标定水位，当水位超过石头人的肩时，下游将受到洪水的威胁；当水位低于石头人的脚背时，下游将出现干旱。这种标定水位的办法与现代水位测量的原理完全一样。北宋时沈括为了治理汴渠，测得“京师之地比泗州凡高十九丈四尺八寸六分”，是水准测量的结果。1973年从长沙马王堆汉墓出土的地图包括了地形图、驻军图和城邑图三种，不仅所表示的内容相当丰富，绘制技术也非常熟练，在颜色使用、符号设计、内容分类和简化等方面都达到了很高水平，是目前世界上发现的最早的地图之一，这与当时测绘术的发达是分不开的。

20世纪初，由于西方的第一、二次技术革命和工程建设规模的不断扩大，工程测量受到人们的重视，并发展成为测绘学的一个重要分支。以核子、电子和空间技术为标志的第三次技术革命，使工程测量获得了迅速的发展。20世纪50年代，世界各国在建设大型水利建筑、隧道、城市地铁中，对工程测量又提出了新的要求；20世纪60年代，空间技术的发展和导弹发射场建设促使工程测量进一步发展；20世纪70年代以来，高能物理、天体物理、人造卫星、宇宙飞行、远程武器发射等，需要建设各种巨型实验室，从测量精度和仪器自动化方面都对工程测量提出了更高的要求。20世纪末，科学技术不断向着宏观宇宙和微观粒子世界延伸，随着计算机、网络技术的发展、测量仪器的智能化，全球定位系统（GPS）、地理信息系统（GIS）、摄影测量与遥感（RS）以及数字化测绘和地面测量技术的迅猛发展，测量数据采集和处理逐渐实现了自动化、实时化和数字化，工程测量的服务领域日益扩大，

除了传统的工程建设三阶段的测量工作外,测量服务对象深入到了地下、水域、空间和宇宙,如核电站建设、摩天大楼、海底隧道、跨海大桥、大型正负电子对撞机、地震观测、海底探测、巨型机器、车床、设备的荷载试验、高大建筑物(电视发射塔、冷却塔)变形观测、文物保护,甚至在医学上和罪证调查中,都应用了最新的精密工程测量仪器和方法。为了满足不断拓展的测绘服务市场需要。3S(GPS、GIS、RS)技术的集成成为测绘技术发展的必然趋势,三者之间的相互作用形成了“一个大脑,两只眼睛”的框架,即GPS与RS为GIS提供区域信息及空间定位信息,而GIS进行相应的空间分析以便从GPS和RS提供的海量数据中提取有用的信息并进行综合集成,使之成为科学决策的依据。近年来,我国正是依托这些测绘高新技术集成建成了三峡工程、青藏铁路等特大工程,这些工程施工范围大、物流量大、施工周期长。伴随着测绘新技术的不断涌现,传统技术的不断提升,现代工程测量必将朝着测量内外业一体化、数据获取及处理自动化、测量过程控制和系统行为智能化、测量成果和产品数字化、测量信息管理可视化、信息共享和传播网络化的方向发展。

## 1.3 地面点位置的确定

测量工作的实质就是确定地面点的位置,是通过在基准面上建立坐标系,并测定待定点与已知点点位之间的距离、角度和高差三个基本量来确定待定点在坐标系中的位置来实现的。为便于理解,在描述坐标和高程前首先简要介绍地球的形状和大小、基准面和坐标系。

### 1.3.1 地球的形状和大小

地球的表面是极不规则的,其表面有海洋岛屿、江河湖泊、平原盆地、高山丘陵。陆地最高山峰珠穆朗玛峰高出海平面 8844.43m,海底最深处马里亚纳海沟达 11 034m,相对高差近 20km。尽管有这样大的高低起伏,但与地球平均半径 6371km 相比起来是微不足道的。同时,就整个地球表面而言,海洋面积约占 71%,陆地仅占 29%。因此,假想由静止的海水面延伸穿过陆地与岛屿形成的闭合曲面与地球的总形体拟合,这个曲面称为水准面。在测量学中,任何一个自由静止的水面均称为水准面。在地球重力场中水准面处处与重力方向正交,重力方向线称为铅垂线,它是测量工作的基准线。由于受潮汐影响,海水水面时高时低动态变化,因此水准面有无穷多个,通常把通过平均海水面的水准面称为大地水准面。大地水准面是测量工作的基准面。大地水准面所包裹的地球形状称为大地体,大地体就代表了地球的形状和大小。不同国家所选择的大地水准面是不同的。

由于地球内部质量分布的不均匀性,使得铅垂线方向发生不规则变化,处处与重力方向正交的大地水准面也就不是一个规则的数学面,而是一个表面有微小起伏的复杂曲面。在这个面上无法进行测量工作的计算,于是人们选择了一个与大地体的形状和大小较为接近的经过测量理论研究和实践证明的旋转椭球体来代替大地体,如图 1-1 所示,并通过定位使旋转椭球体与大地体的相对关系固定下来,这个旋转椭球体称为参考椭球体。参考椭球体的表面是一个可以用数学公式表达的规则曲面,它是测量计算和投影制图的基准面。

参考椭球体的形状和大小,通常用其长半轴  $a$ ,短半轴  $b$  和扁率  $\alpha$  描述,只要知道其中两个元素,即可确定椭球体的形状和大小。

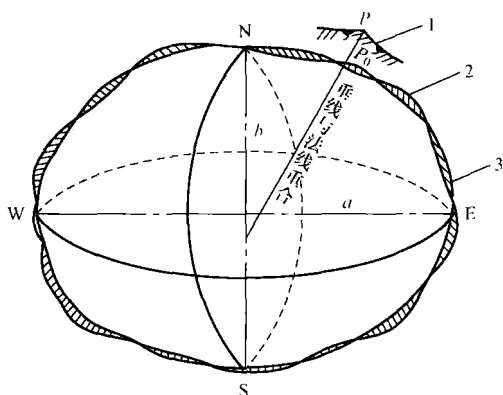


图 1-1 地球表面与大地水准面及参考椭球体相互关系示意图

1—地球表面；2 大地水准面；3—参考椭球体

标系，大地原点设在陕西省西安市泾阳县永乐镇。

由于参考椭球体的扁率很小，在普通测量中又近似地把大地体视为圆球体，其半径采用与参考椭球体等体积的圆半径，其值为：

$$R = \frac{1}{3}(a + a + b) = 6371\text{km}$$

### 1.3.2 确定地面点位的方法

地面点的位置是由该点在椭球面上的位置（地理坐标）或投影在水平面上的平面位置（平面坐标）及该点到大地水准面的铅垂距离（高程）来表示的。

#### 1. 地面点的坐标

(1) 地理坐标。地理坐标是用经度和纬度表示地面点的位置。如图 1-2 所示， $O$  为地心， $PP'$  为地球旋转轴，简称地轴，通过地轴的平面称为子午面（图 1-2 中的平面  $PM P'$ ），子午面与地球表面的交线称为子午线（经线）。过地心  $O$  垂直于地轴的平面称为赤道面（图 1-2 中的  $QMM_0 Q'$ ），赤道面与地球表面的交线称为赤道。确定地面点的地理坐标，以赤道面和通过英国格林尼治天文台的起始子午面（也称首子午面）作为基准面。

地面上任意一点的经度，即为通过该点的子午面与首子午面间的夹角。以首子午线为基准，向东  $0^\circ \sim 180^\circ$  为东经，向西从  $0^\circ \sim 180^\circ$  为西经。经度相同的点的连线称为经线。

地面上任意一点的纬度，是通过该点的铅垂线与赤道面的夹角。以赤道为基准，向北从  $0^\circ \sim 90^\circ$  为北纬，向南从  $0^\circ \sim 90^\circ$  为南纬。纬度相同的点的连线称为纬线。

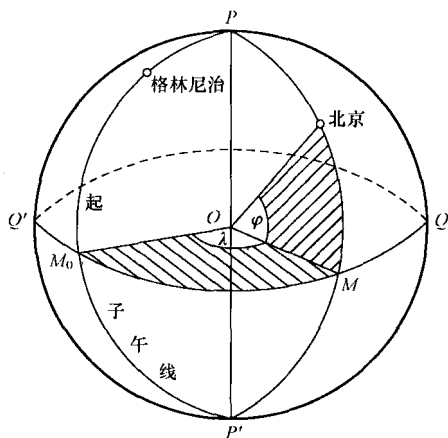


图 1-2 地理坐标示意图

我国 1954 年北京坐标系采用前苏联的克拉索夫斯基椭球体元素，其值为：

长半轴  $a = 6\,378\,254\text{m}$

短半轴  $b = 6\,356\,872\text{m}$

扁率  $\alpha = \frac{a-b}{a} = \frac{1}{298.3}$

我国 1980 年西安坐标系采用国际大地测量与地球物理协会（IUGG）推荐的椭球元素，其值为：

长半轴  $a = 6\,378\,137\text{m}$

短半轴  $b = 6\,356\,752\text{m}$

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

1980 年西安坐标系命名为 1980 年国家大地坐

以法线为依据,以参考椭球面为基准面的地理坐标称为大地地理坐标,分别用  $L$ 、 $B$  表示;以铅垂线为依据,以大地水准面为基准面的地理坐标称为天文地理坐标,分别用  $\lambda$ 、 $\varphi$  表示。天文地理坐标是用天文测量的方法直接测定的;而大地地理坐标是用根据起始的大地原点的坐标推算的。大地原点的天文地理坐标和大地地理坐标是一致的。

(2) 高斯平面直角坐标。地理坐标是球面坐标,只能表示地面点在球面上的位置,观测、计算、绘图较为复杂,不能直接用于测绘大比例尺地形图和建筑图。因此,必须将地面点的地理坐标转换成平面直角坐标。椭球面上的点的坐标不能直接转换成平面坐标,只有通过一定的投影方法才能将椭球面上的点、线、面投影到平面上。这种投影要产生变形,即投影变形,包括长度变形、面积变形和角度变形。

投影的方法很多,归纳起来可分为三大类,即等角投影、等面积投影和任意投影。根据中华人民共和国大地测量法规定,我国采用高斯—克吕格正形投影的方法,习惯简称为高斯投影,它是一种等角投影。国家标准《工程测量规范》(GB 50026—1993)规定:平面控制网的坐标系应在满足测区内投影变形值不大于  $2.5\text{cm/cm}$  的要求下,一般采用高斯正形投影  $30^\circ$  带平面直角坐标系。这种建立在高斯投影面上的直角坐标系称为高斯平面直角坐标系。

高斯投影是将地球看作一个圆球,设想用一个空心横圆柱体套在地球外面,使横圆柱的中心轴位于赤道面内并通过球心,让圆柱面与地球球面上某一子午线相切,该子午线称为中央子午线,如图 1-3 (a) 所示。将中央子午线东西两侧球面上的图形按一定的数学法则投影到圆柱面上,然后将圆柱面沿着通过南北两极的母线切开展平,即得到高斯投影的平面图形,如图 1-3 (b) 所示。

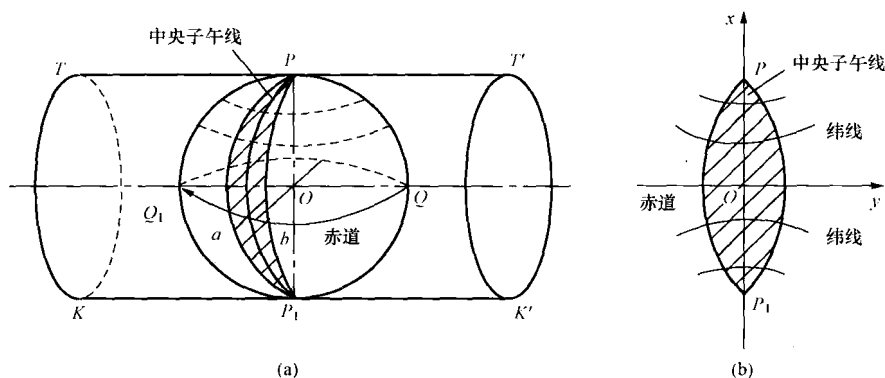


图 1-3 高斯投影示意图

高斯投影前后所有角度保持不变,故高斯投影亦称为等角投影或正形投影。在投影后的高斯平面上,中央子午线投影为直线,与赤道垂直且长度保持不变,其余子午线的投影为对称于中央子午线的弧线,而且距中央子午线越远长度变形越大。为了将长度变形控制在允许的范围之内,一般采用分带投影的方法,以经差  $6^\circ$  或  $3^\circ$  来限定投影带的宽度,简称  $6^\circ$  带或  $3^\circ$  带,如图 1-4 所示。

$6^\circ$  带是从起始子午线开始,自西向东每隔  $6^\circ$  划分一带。整个地球划分为 60 带,用数字 1~60 顺序编号。 $6^\circ$  带中央子午线的经度依次为  $3^\circ, 9^\circ, 15^\circ, \dots, 357^\circ$ , 可按式 (1-1) 计算:

$$\lambda_6 = 6^\circ N - 3^\circ \quad (1-1)$$

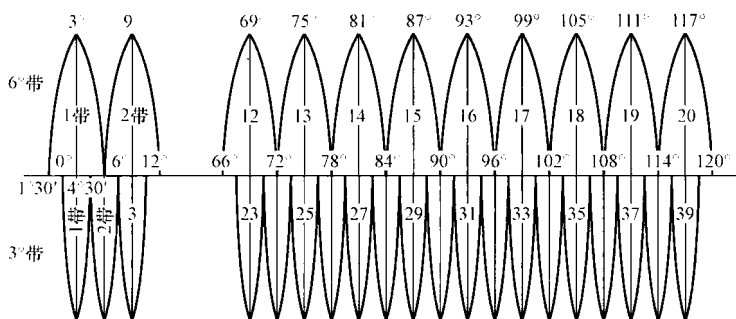


图 1-4 投影带示意图

式中  $\lambda_6$ ——6°带中央子午线的经度；

$N$ ——6°带的带号。

3°带是从东经 1.5°子午线开始，自西向东每隔 3°划分为一带，整个地球划分为 120 个投影带，用数字 1~120 顺序编号。3°带的中央子午线的经度依次为 3°, 6°, 9°, ..., 360°, 可按下式计算：

$$\lambda_3 = 3^\circ N' \quad (1-2)$$

式中  $\lambda_3$ ——3°带中央子午线的经度；

$N'$ ——3°带的带号。

将每个投影带沿边界切开，展成平面，以中央子午线为纵轴向北为正，向南为负；赤道为横轴向东为正，向西为负，两轴的交点为坐标原点，就组成了高斯平面直角坐标系如图 1-5 所示。我国位于北半球，纵坐标为正号，横坐标有正有负。为了避免横坐标出现负值，通常将每带的坐标原点向西移 500km，这样无论横坐标的自然值是正还是负，加上 500km 后均能保证每点的横坐标为正值。为了表明地面点位于哪一个投影带内，在横坐标前加上投影代号，因此，高斯平面直角坐标系的横坐标实际上是由带号、500km 以及自然坐标值三部分组成的。这样的横坐标称为国家统一坐标系，称为横坐标通用值。

如图 1-5 所示，设 A、B 两点位于第 20 号投影带内  $y_A = 3\,868.5\text{m}$ ,  $y_B = -6\,482.3\text{m}$ ，加上 500km 后  $y_A = 500\,000 + 3\,868.5 = 503\,868.5\text{m}$ ,  $y_B = 500\,000 - 6\,482.3 = 493\,517.7\text{m}$ ，加上带号，则其横坐标的通用值为  $y_A = 20\,503\,868.5\text{m}$ ,  $y_B = 20\,493\,517.7\text{m}$ 。

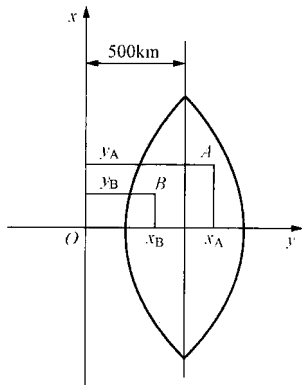


图 1-5 高斯平面坐标系

由横坐标通用值可以看出，若小数点前第六位数小于 5，则表示该点位于中央子午线西侧，其横坐标自然值为负；反之，位于东侧。自然值为正。在我国疆域内，6°带在 13~23 带之间，而 3°带在 25~45 带之间，没有重叠带号，因此，根据横坐标通用值就可以判定投影带是 6°带还是 3°带。

由于城市工程施工精度的需要，城市测量对投影变形的限制很严，一般要求变形小于 0.025m/km，即投影误差应不超过 1/40 000，所以城市测量的中央子午线一般定在城市中央，它们不一定是 3°带或 6°带的中央子午线，而是任意中央子午线。大中城市的坐标系统一般是高斯正投影任意带平面直角坐标系

统，且与国家坐标系统进行了联测，可以进行坐标转换。

(3) 独立平面直角坐标。当城镇的测量范围较小且与国家坐标系无法联测时，可以不加改算把该地区的球面直接当作平面，将地面点直接投影到水平面上，用平面直角坐标表示点的平面位置。

建筑测量使用的直角坐标系与数学上的坐标系基本相似，但纵坐标轴为  $x$  轴，正向朝北，横坐标轴为  $y$  轴，正向朝东。象限按顺时针方向编号，对直线方向的表示从坐标纵轴 ( $x$  轴) 的北端开始，顺时针度量至待定向的直线，与数学上的顺序恰好相反。采用这样的表示方法，是为了直接采用数学上的公式进行坐标计算，而不必另行建立数学模型。为了使坐标不出现负值，一般把坐标原点选择在测区的西南角，如图 1-6 所示。

2. 地面点的高程

(1) 绝对高程。地面点沿铅垂线方向到大地水准面的距离称为该点的绝对高程，也称海拔，简称高程。用  $H$  表示。如图 1-7 所示，地面点  $A$ 、 $B$  的绝对高程分别为  $H_A$ 、 $H_B$ 。 $A$ 、 $B$  两点的高差：

$$h_{AB} = H_B - H_A \tag{1-3}$$

即地面两点间的高差等于两点的高程之差。

目前，我国采用 1985 年国家高程基准，它是将与黄海平均海水面相吻合的大地水准面作为全国高程系统的基准面，在该基准面上绝对高程为零。1985 年国家高程基准是经国务院批准，1987 年颁布命名在全国统一使用的高程基准。这个基准是以青岛验潮站根据 1952~1979 年的验潮资料计算确定的平均海水面作为基准面的高程基准，国家水准原点（青岛原点）的高程为 72.260m。

(2) 假定高程。地面点沿铅垂线方向到任意假定水准面的距离称为该点的假定高程，也称为相对高程。如图 1-7 所示，地面点  $A$ 、 $B$  的假定高程分别为  $H'_A$ 、 $H'_B$ 。

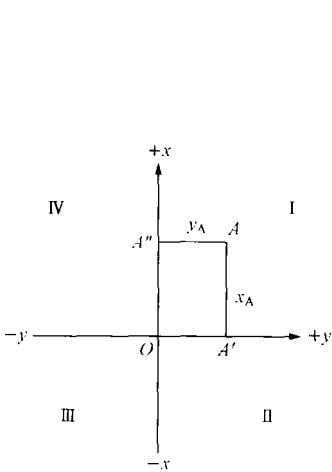


图 1-6 独立平面直角坐标系

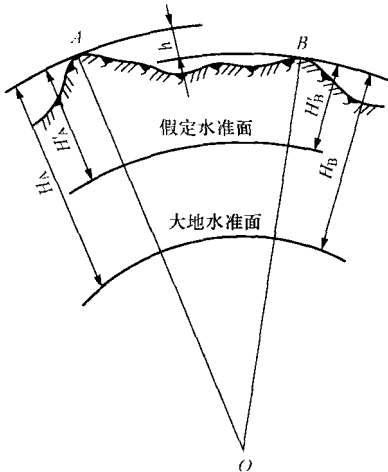


图 1-7 绝对、相对高程

$A$ 、 $B$  两点的高差：

$$h_{AB} = H_B - H_A = H'_B - H'_A \tag{1-4}$$

在测量工作中，一般只采用绝对高程，只有在偏僻地区或应急测量时没有已知的绝对高程点可以引测时，才采用假定高程。

1.4 水平面代替水准面的限度

当测区的范围较小时，可以把该地区球面看成水平面。那么多大范围能用水平面代替水准面，并能满足测图用图的精度要求呢？这就必须讨论用水平面代替水准面时，对距离、高程、角度测量的影响，明确可以代替的范围和必要时应加的改正数。

1.4.1 水平面代替水准面对距离的影响

如图 1-8 所示，设地面上两点 A、B，沿铅垂线方向投影到大地水准面上得到 A'、B'，如果用过 A 点与大地水准面相切的水平面代替大地水准面，B 点在水平面上的投影为 B'，A、B 两点在大地水准面上投影 A'、B' 的弧长为 D，投影到水平面上的距离为 D'，则两者之差即为用水平面代替大地水准面所引起的距离误差，用 ΔD，则

$$\Delta D = D' - D = R \tan \theta - R \theta = R(\tan \theta - \theta)$$
 (1-5)

式中 R——地球曲率半径 6371km；  
θ——D 对应的圆心角，单位弧度。

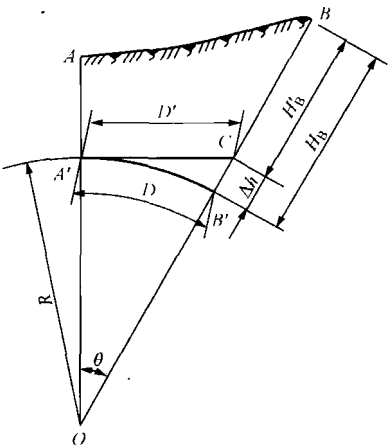


图 1-8 水平面代替水准面

将 tanθ 用级数展开

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

因为 θ 很小，所以只取前两项代入式 (1-5) 得：

$$\Delta D = \frac{1}{3} R \theta^3$$

又因为

$$\theta = \frac{S}{R}$$

所以

$$\Delta D = \frac{D^3}{3R^2}$$

或

$$\frac{\Delta D}{D} = \frac{D^2}{3R^2}$$
 (1-6)

将 R 和不同的 S 代入式 (1-6)，计算出的 ΔD 和 ΔD/D 见表 1-1。可以看出，当距离为 10km 时，产生的距离相对误差为 1/120 万，而目前测量工作中精密距离测量的最小允许误差为 1/100 万。因此，可以得出结论，半径在 10km 范围之内，地球曲率对距离的影响可以忽略不计，可用水平面代替水准面，对于建筑测绘和一般市政建筑工程而言，工作范围半径可以扩大到 20km。

表 1-1 用水平面代替水准面对距离和高程的影响

| 距离<br>D | 距离误差<br>ΔD/mm | 距离相对误差<br>ΔD/D | 高程误差<br>Δh/mm | 距离<br>D | 距离误差<br>ΔD/mm | 距离相对误差<br>ΔD/D | 高程误差<br>Δh/mm |
|---------|---------------|----------------|---------------|---------|---------------|----------------|---------------|
| 500m    | 0.004         | 1/25 000 万     | 38.8          | 10km    | 8.2           | 1/120 万        | 7 850.0       |
| 1km     | 0.008         | 1/12 500 万     | 78.5          | 20km    | 128.3         | 1/19.5 万       | 49 050.0      |

### 1.4.2 水平面代替水准面对高程的影响

如图 1-8 所示,地面点的绝对高程为  $H$ ,当用水平面代替水准面时, $B$  点的高程为  $H_B$ ,则其差值即为用水平面代替水准面所产生的高程误差,用  $\Delta h$  表示,可得

$$(R + \Delta h)^2 = R^2 + t^2$$

因为  $t$  与  $S$  的相差很小,以  $S$  代替  $t$ ,由上式可得

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

上式中,  $\Delta h$  与  $R$  比较可以忽略不计,于是上式可变为

$$\Delta h = \frac{S^2}{2R} \quad (1-7)$$

将  $R$  和不同的  $S$  代入式 (1-7),计算出的  $\Delta h$  见表 1-1。可以看出,用水平面代替水准面所产生的高程误差,随着距离的平方而增加,所以就高程测量而言,地球曲率对其影响,即使在较小的距离范围内也应考虑。

### 1.4.3 水平面代替水准面对水平角的影响

由球面三角学知道,平面三角形内角和为  $180^\circ$ ,球面三角形内角和比平面三角形内角和大一个球面角超  $\epsilon$ ,它的大小与图形面积成正比。由计算表明,在地球上如多边形的面积为  $100\text{km}^2$ ,则  $\epsilon$  不大于  $0''.6$ 。由此看来,曲率对水平角的影响,只有在大范围高等级平面控制测量中才加以考虑,一般小范围内的测量可以忽略不计。

## 1.5 测量工作概述

### 1.5.1 基本概念

地球表面复杂多样的形态,可分为地物和地貌两大类。地面上固定性物体称为地物,如河流、湖泊、道路和房屋等。地面上高低起伏形态称为地貌,如山岭、谷地和陡崖等。下面以地物和地貌测绘到图纸上为例,介绍测量工作的原则和程序。

图 1-9 (a) 为一幢房屋,其平面位置由房屋轮廓线的一些折线所组成,如能确定 1~6 各点的平面位置,这幢房屋的位置就确定了。图 1-9 (b) 是一条河流,它的岸边线虽然很不规则,但弯曲部分可看成是折线所组成,只要确定 7~13 各点的平面位置,这条河流的位

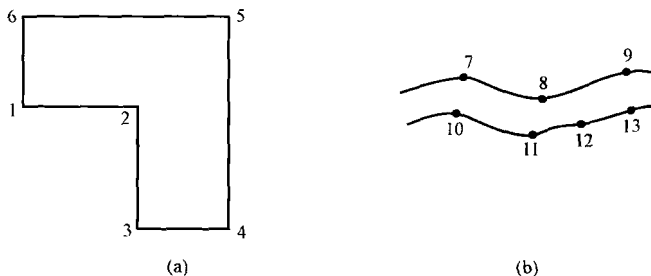


图 1-9 地物特征点



置也就确定了。至于地貌，其地势起伏变化虽然复杂，但仍可看成是由许多不同方向、不同坡度的平面相交而成的几何体。相邻平面的交线就是方向变化线和坡度变化线，只确定出这些方向变化线与坡度变化线交点的平面位置和高程，地貌的形状和大小的基本情况也就反映出来了。因此，不论地物或地貌，它们的形状和大小都是由一些特征点的位置所决定。这些特征点测量学中称碎部点。测图时，主要就是测定这些碎部点的平面位置和高程。

### 1.5.2 测量工作基本原则

一般测量工作应遵循“先控制后碎部；由整体到局部；步步有检核”的原则。测定碎部点的位置，其程序通常分为两步：第一步为控制测量，如图 1-10 所示，先在测区内选择若干具有控制意义的点 1、2、3、…作为控制点，以较精确的仪器和方法测定各控制点之间的距离  $D$ 、各控制边之间的水平夹角  $\beta$ 、某一条边（图 1-10 的 2-3 边）的方位角  $\alpha$ ，设点 2 的坐标已知，则可计算出其他控制点的坐标，以确定其平面位置。同时还要测出各控制点之间的高差，如果某一控制点高程为已知，本例设点 2 的高程为已知，可求出其他控制点的高程。第二步为碎部测量即在控制点上测定碎部点的位置。例如，在控制点 1 上测定其周围碎部点  $L$ 、 $M$ 、 $N$  等，在控制点 2 上测定其周围碎部点  $A$ 、 $B$  等的平面位置和高程。这种“从整体到局部”、“先控制后碎部”的方法是组织测量工作应遵循的原则，它可以减少误差累积，保证测图精度。而且可以分幅测绘，加快测图进度。另外，从上述可知，当测定控制点的相对位置有错误时，以其为基础所测定的碎部点位也就有错误，碎部测量中有错误时，以此资料绘制的地形图也就有错误。因此，测量工作必须严格进行检核工作，故“前一步测量工作未作检核不进行下一步测量工作”是组织测量工作应遵循的又一个原则，它可以防止错漏发生，保证测量成果的正确性。

上述测量工作的布局原则和程序，不仅适用于测定工作，也适用于测设工作。如图 1-10 所示，欲将图上设计好的建筑物  $P$ 、 $Q$ 、 $R$  测设于实地，作为施工的依据，须先于实地

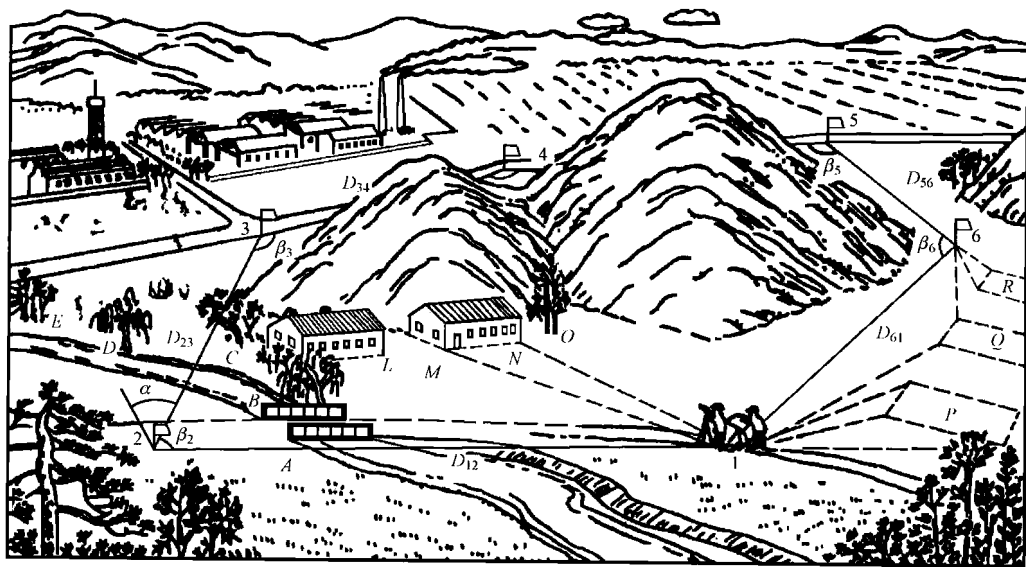


图 1-10 测量工作程序示意图