

全国高等林业院校试用教材

# 测量学

北京林学院 主编



林业专业用

中国林业出版社

P21

58

全国高等林业院校试用教材

测 量 学

北京林学院主编

中国林业出版社出版（北京西城区刘海胡同七号）

新华书店北京发行所发行

河北昌黎县印刷厂印刷

787×1092毫米16开本 20.75印张 501千字

1979年8月第1版 1986年10月第6次印刷

印数 52,501—55,500册

统一书号 13046·1007 定价 3.50元

全国高等林业院校试用教材

# 测 量 学

北京林学院主编

(林 业 专 业 用)

中 国 林 业 出 版 社

## 前 言

根据全国高等农林院校林业专业教材会议制定的“测量学”教学大纲，在各级党组织的领导下，我们组织了林业专业“测量学”统一试用教材的编写和审订。

本教材在考虑到我国目前林业测绘生产水平及国内外测绘先进技术的引用的同时，贯彻了少而精的原则，加强基本理论和基本技能的训练，并兼顾了我国南北方的不同要求。全书共分十六章及附录。详细介绍了测量的基本知识和理论；测量仪器的构造、使用和检校。重点阐述有关罗盘仪及平面图的测绘；小面积大比例尺地形图测绘；国家基本图的应用；林区公路测量等内容。扼要地阐述农林工程及平整土地测量；航空摄影测量及地面立体摄影测量。并对测绘新技术作了简介。

本教材由云南林学院韩熙春、陈学平、阮志城主编，南京林产工业学院陶绍训，河北林业专科学校阎哲疆参加编写。东北林学院李宝泉参加了制定大纲的讨论。

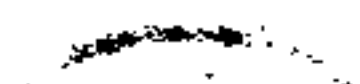
华南农学院林学系罗彤鉴教授主审，参加审订的除编写人员外，还有华南农学院陈宇宽，山东农学院李世光，宁夏农学院王家圣、葛起贤，安徽农学院沈健章。

在编写过程中，得到兄弟院校及生产、科研单位的大力协助，提供了大量资料和宝贵的意见，特此致谢。

由于我们水平有限，错漏之处，在所难免，请批评指正。

《测量学》编审组

一九七八年六月



# 目 录

—  
4

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| 第一章 绪论 .....                  | 1  |
| 第一节 测量学的任务及其在社会主义建设中的作用 ..... | 1  |
| 第二节 测绘技术发展概况 .....            | 1  |
| 第三节 地球的形状和大小 .....            | 2  |
| 第四节 确定地面上点的位置 .....           | 3  |
| 第五节 平面图、地图、地形图和断面图 .....      | 7  |
| 第六节 比例尺及比例尺的精度 .....          | 8  |
| 第七节 测量工作概念 .....              | 10 |
| 第八节 直线定线及丈量 .....             | 11 |
| 第九节 直线丈量的精度及注意事项 .....        | 15 |
| 第二章 罗盘仪及平面图测绘 .....           | 16 |
| 第一节 直线定向 .....                | 16 |
| 第二节 子午线收敛角 .....              | 18 |
| 第三节 座标方位角 .....               | 19 |
| 第四节 罗盘仪的构造及使用 .....           | 20 |
| 第五节 罗盘仪的检验校正与维修 .....         | 22 |
| 第六节 罗盘仪测量 .....               | 26 |
| 第三章 测量误差的基本知识 .....           | 31 |
| 第一节 测量误差的来源及分类 .....          | 31 |
| 第二节 衡量精度的标准 .....             | 34 |
| 第三节 观测值函数中误差 .....            | 35 |
| 第四节 观测值的中误差 .....             | 40 |
| 第四章 水准测量 .....                | 44 |
| 第一节 国家高程控制网概念 .....           | 44 |
| 第二节 水准测量原理 .....              | 45 |
| 第三节 微倾水准仪和水准尺 .....           | 46 |
| 第四节 微倾水准仪的安置和使用 .....         | 51 |
| 第五节 微倾水准仪的检验与校正 .....         | 53 |
| 第六节 水准测量作业及注意事项 .....         | 56 |
| 第七节 四等水准测量 .....              | 58 |
| 第八节 水准测量的精度要求及校核方法 .....      | 60 |
| 第九节 水准测量的精度分析 .....           | 63 |
| 第五章 经纬仪及其使用 .....             | 66 |
| 第一节 角度测量原理 .....              | 66 |
| 第二节 经纬仪的构造 .....              | 67 |

|                            |            |
|----------------------------|------------|
| 第三节 光学经纬仪的读数设备 .....       | 69         |
| 第四节 度盘及游标 .....            | 72         |
| 第五节 经纬仪测水平角 .....          | 71         |
| 第六节 经纬仪测竖角 .....           | 79         |
| 第七节 经纬仪的检验与校正 .....        | 85         |
| 第八节 水平角测量的精度分析 .....       | 99         |
| 第九节 经纬仪的养护、使用及注意事项 .....   | 96         |
| <b>第六章 视距测量 .....</b>      | <b>98</b>  |
| 第一节 视距测量原理 .....           | 98         |
| 第二节 视距计算工具 .....           | 100        |
| 第三节 视距常数的测定 .....          | 103        |
| 第四节 视距测量的精度与注意事项 .....     | 105        |
| 第五节 等差级数视距尺 .....          | 108        |
| 第六节 视差法测距 .....            | 111        |
| <b>第七章 图根控制测量 .....</b>    | <b>115</b> |
| 第一节 图根控制测量概念 .....         | 115        |
| 第二节 经纬仪导线测量 .....          | 116        |
| 第三节 导线坐标计算 .....           | 118        |
| 第四节 导线网简易平差 .....          | 123        |
| 第五节 检查导线测量错误方法 .....       | 124        |
| 第六节 视距导线测量 .....           | 125        |
| 第七节 小三角测量外业工作 .....        | 127        |
| 第八节 中心多边形近似平差 .....        | 131        |
| 第九节 线形三角锁的平差 .....         | 134        |
| 第十节 前方交会 .....             | 139        |
| 第十一节 后方交会 .....            | 143        |
| 第十二节 三角高程测量 .....          | 144        |
| <b>第八章 大比例尺地形图测绘 .....</b> | <b>148</b> |
| 第一节 表示地物地貌的符号 .....        | 148        |
| 第二节 平板仪测量原理 .....          | 153        |
| 第三节 平板仪构造 .....            | 154        |
| 第四节 平板仪检验和校正 .....         | 155        |
| 第五节 平板仪测站安置 .....          | 156        |
| 第六节 测图前准备工作 .....          | 157        |
| 第七节 平板仪导线 .....            | 160        |
| 第八节 平板仪交会法 .....           | 160        |
| 第九节 地形测图方法 .....           | 162        |
| 第十节 地形图的拼接和检查 .....        | 167        |
| 第十一节 地形图的整饰清绘和复制 .....     | 168        |
| 第十二节 草测 .....              | 171        |

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| 第十三节 聚脂薄膜在地形测图中的应用    | 173 |
| 第九章 地形图的应用            | 175 |
| 第一节 高斯投影的概念           | 175 |
| 第二节 平面直角坐标            | 177 |
| 第三节 地形图的分幅与编号         | 178 |
| 第四节 分幅编号查取的有关问题       | 182 |
| 第五节 读图与实地对图           | 185 |
| 第六节 地形图应用的一些问题        | 187 |
| 第七节 地形图在林业中的应用        | 191 |
| 第八节 地形图在水库设计中的应用      | 193 |
| 第九节 地形图在平整土地中的应用      | 196 |
| 第十章 航空摄影测量和地面立体摄影测量概念 | 197 |
| 第一节 概述                | 197 |
| 第二节 航空摄影测量的基本知识       | 198 |
| 第三节 航空摄影测量编制地形图的简要过程  | 204 |
| 第四节 利用航摄像片编制林业基本图     | 207 |
| 第五节 地面立体摄影测量概念        | 212 |
| 第十一章 地形图的修测           | 216 |
| 第一节 修测工作程序            | 216 |
| 第二节 复制图图纸的伸缩问题        | 217 |
| 第三节 地形图的野外修测          | 219 |
| 第四节 利用航空像片修测地形图       | 222 |
| 第十二章 面积计算             | 224 |
| 第一节 网格法               | 224 |
| 第二节 纵距和法              | 225 |
| 第三节 机械法               | 226 |
| 第四节 控制法               | 229 |
| 第五节 光电机械法             | 231 |
| 第六节 各种方法应用范围和精度分析     | 231 |
| 第十三章 林区公路测量           | 236 |
| 第一节 概述                | 236 |
| 第二节 林区公路的踏勘与选线        | 236 |
| 第三节 路线中线测量            | 238 |
| 第四节 圆曲线测设             | 241 |
| 第五节 回头曲线的测设           | 247 |
| 第六节 路线纵断面水准测量         | 251 |
| 第七节 路线横断面测量           | 253 |
| 第八节 路线纵断面图的绘制及路线设计    | 255 |
| 第九节 路线横断面图的绘制及路基设计    | 259 |

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| 第十节 土石方量的计算·····      | 267 |
| 第十四章 渠道测量·····        | 269 |
| 第一节 渠道线路选线的原则及方法····· | 269 |
| 第二节 渠道测量外业实施·····     | 270 |
| 第三节 渠道设计·····         | 271 |
| 第四节 渠道边坡放样和验收·····    | 277 |
| 第十五章 平整土地测量·····      | 283 |
| 第一节 平整土地测量方法·····     | 283 |
| 第二节 梯田规划和测量·····      | 289 |
| 第三节 条田的简便测法·····      | 293 |
| 第四节 小块田并大块田的测法·····   | 294 |
| 第十六章 测绘新技术简介·····     | 295 |
| 第一节 概述·····           | 295 |
| 第二节 光电测距·····         | 296 |
| 第三节 JC-1型激光地形测绘仪····· | 300 |
| 第四节 CZJ-1型电子计算机·····  | 302 |
| 第五节 遥感技术在测量中的应用·····  | 306 |
| 第六节 影像地图·····         | 308 |
| 附录                    |     |
| 一、测量常用单位·····         | 310 |
| 二、林区公路分级与主要技术指标·····  | 311 |
| 三、回头曲线K值表·····        | 312 |
| 四、自动安平水准仪·····        | 314 |
| 五、自动归算视距仪·····        | 316 |
| 六、测绘计算尺·····          | 319 |

# 第一章 绪 论

## 第一节 测量学的任务及其在社会主义建设中的作用

测量学是研究地球表面各个部分以及地球的形状和大小而进行测绘的一门应用科学。

研究对象是小范围内地球表面的形状和大小，不考虑地球表面的曲率，根据需要测绘各种比例尺地形图，称为普通测量学（地形测量学）。研究对象是整个地球或一个广大区域的形状和大小，必须考虑到地球曲率，称为大地测量学。利用航空摄影或地面摄影的像片进行测量，绘制成地形图，称为摄影测量学。为某种工程建设项目（如农田水利、林业建设、交通运输、厂矿建设等）服务的测量科学，称为工程测量学。而普通测量学是其他测量科学技术的基础。具体任务是：一方面解决如何使用各种测量仪器和工具，通过实地测量与计算，将小范围面积内地面上的形状和大小，按一定比例缩小绘制成地形图，为各项规划、设计提供技术资料；另一方面是要解决如何将图上规划和设计好的工程或建筑物的位置，准确地测设到地面上，作为施工的依据。

本教材主要是介绍有关地形测图的基础知识及在农林工程方面必须掌握的有关测量技术和方法。

测量科学技术在国民经济和国防建设事业中，被广泛应用。在工业生产及交通事业方面，如大型工矿企业、铁路、公路、桥梁、隧道的设计及施工，都离不开测量工作；在农业生产方面，如农田基本建设，县、社、队的全面规划，农田水利设施的施工等，也需要测量提供依据；在林业生产建设方面，地形图是实现大地园林化及从事林业各项规划设计的基本图面资料，如荒山荒地的调查、宜林地的造林规划设计、苗圃的布局与建立；农田防护林、水土保持林的营造；林区的开发、局场址的选定、森林资源清查；森林铁路及林区公路的勘测，集材、运材道的设计，架空索道位置的选定；林产品综合加工厂厂址的布局等方面，都需要用图和测图。在国防建设方面，一切战略部署、战役指挥、战术进攻，各项国防工程的修建与施工，也都离不开地形图和测量工作，所以测绘工作是实现四个现代化必不可少的一项基础工作，而且是国民经济建设和国防建设的尖兵，这就要求我们掌握测量知识，并要学到手，才能更好地为社会主义建设服务。

## 第二节 测绘技术发展概况

测量学和其它学科一样，是劳动人民长期从事生产实践中产生和发展起来的。早在公元前二十一世纪我国就创造了“准、绳、规、矩”等简易测量工具。战国时代制成了世界上最早的指南工具“司南”。秦汉时期测绘技术已广泛应用，后汉张衡创造了“浑天仪”，进行了天文观测。公元三世纪西晋裴秀在总结前人制图方法的基础上，拟定了小比例尺编图工作的规范，称为“制图六体”。公元十八世纪初，我国首先进行了大地测量，由1708—1718年利用十年时间完成了全国各省的测量工作，并绘成了“皇舆全图”。清朝末期，成立了一些测

量机构,也培养了一些测绘人才。但由于历代封建王朝和国民党反动派的长期统治,我国的测绘事业进展非常缓慢,质量也很低劣,无法引用。

建国以来,我国的测绘科学技术有了很大发展,在测绘学科各个领域内都取得了不少的成就。例如,已在全国布设了国家水平大地控制网和高程控制网,这就为社会主义建设和国防建设,提供了测绘基础资料;完成了以航测资料为基础的全国绝大部分地区的中比例尺的国家基本图及部分地区的大比例尺的地形图,还测出了珠穆朗玛峰的实际高程,提出了科学数据。在经济建设中的各项大型水利工程,如根治海河、治黄等规划与施工;铁路公路的勘测,如成昆铁路、川藏、青藏公路的修建;大型厂矿的建设都是通过测绘工作者的辛勤劳动,为设计和施工提供了可靠依据。在测量仪器制造方面,不仅能够成批生产一般的光学经纬仪和水准仪,而且已开始生产精密光学经纬仪和水准仪。

近二十多年来,由于宇宙空间技术、电子工业、光学和计算技术的飞速发展,使测绘科学技术进入一个新纪元。人造地球卫星的发射,为测绘科学开辟了新的发展方向。六十年代激光技术的兴起,使精密测距产生了质的飞跃,特别是近几年来采用新的光电测距系统,这是现代测量仪器中一个极为显著的发展。1960年世界第一台红宝石激光器和氦氖激光器出现,1962年砷化镓半导体激光器的研制获得成功,这就为激光测距系统的研制提供了有利条件。我国1969年制成了第一台JCY-1型中程激光测距仪,1974年又以国产元件材料,制成了以砷化镓半导体激光器为光源的激光测距仪即HGC-1型短程红外激光测距仪。

在航测方面,目前我国常规航空摄影测量仍是重要手段,因此在航摄仪器制造及航摄感光材料方面,都取得了可喜的成果。航测成图自动化是当前主要发展方向。

在计算技术方面,由于电子计算机的出现,为大量数据的运算、储存提供了方便。我国除了有可供多学科使用的电子计算机外,还研制成功了测绘专用台式电子计算机,运算迅速,成果准确。

在编制地图方面,采用“刻图法”新工艺,从而完全甩掉了陈旧工具和作业方法,使编制地图的清绘工艺推进了一大步,并为绘图机械化、自动化提供了可能性。

目前,国外的测绘科学技术发展相当快,我国在不少方面与之相比还有一定差距。为了当好社会主义建设和国防建设的尖兵,在本世纪末实现四个现代化,以最快的速度建立我国现代化测绘体系,必须充分吸取世界最先进的测绘科学技术成果,努力实现野外作业装备机械化、测量制图自动化、资料储存数字化、微型化、测绘成果多样化,才能在测绘理论和自动化水平方面赶超世界先进水平。

### 第三节 地球的形状和大小

地球的自然表面是一个极不平坦、不规则的曲面,有高山、深谷和丘陵。低洼部分充满着水,形成海洋。海洋占地球表面积的71%,而陆地仅占29%,世界上最高山峰是珠穆朗玛峰,高程为8,848.13米,最深的海洋(马里亚纳海沟11,022米)约相差20公里。若将地球缩为半径等于一米的球体,其最大起伏还不到一粒米。因此可认为大部分陆地与一般海水面相差甚微,它与地球半径相比,已可略而不计。地球的形状为南北稍扁平的椭圆体。可是由于地面错综复杂,又不能用数学公式表达出来,为了测量与绘图的需要,我们就设想用一个向大陆延伸的静止海水面所包围的椭圆体,来表示地球的形状。这个静止的海水面,称为水准

面。如此可作无穷个水准面，而其中有一个是通过静止的平均海水面的水准面，称为大地水准面。如图 1—1 所示，大地水准面的特性是：它的表面处处与铅垂线方向垂直，即与重力方向垂直。但重力是地球引力和地球离心力的合力，而地球引力与地球内部物质的密度有关。这样，由于地球内部物质的密度分布不均匀，必然会使地面各点的引力不一致，铅垂线的方向不规则。而铅垂线方向不规则的特性，必然会使大地水准面也成为不规则的复杂曲面，这样一个不规则的大地水准面，目前仍是不能用数学公式来表达。为此，我们用一个与大地水准面非常接近而能用数学公式表达的规则曲面来表示地球的形状，这个规则的曲面就是旋转椭球体面或称为大地参考面。在经过大量的测绘实践和研究之后，可以恰当的选择这个面，使之与大地水准面的差值很小。目前我国采用的大地参考面，差值最大不超过  $\pm 150$  米。

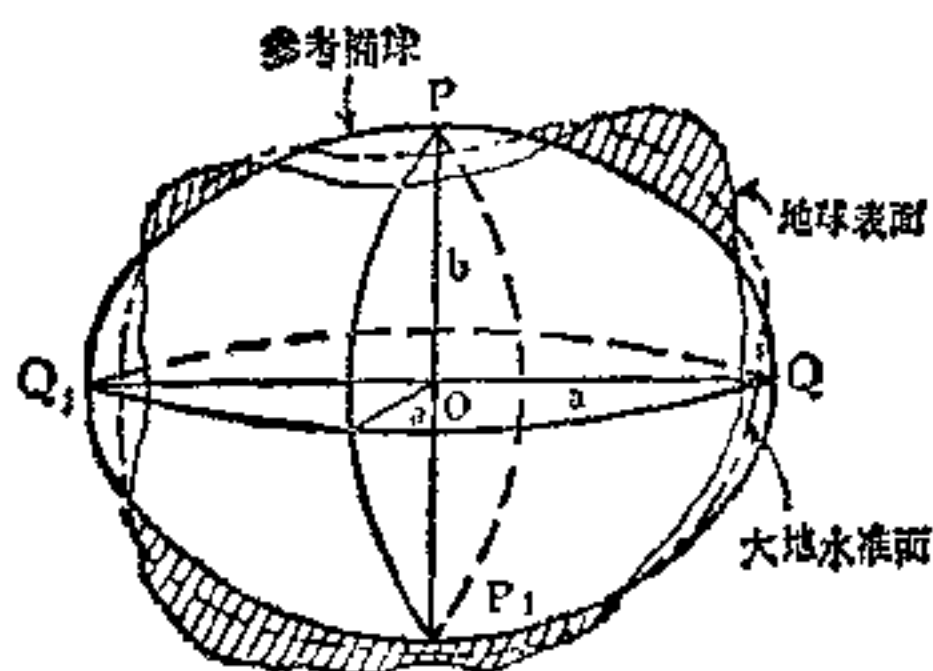


图 1—1 地球的形状

从图 1—1 中可以看出，旋转椭球体是由椭圆  $POP_1Q_1$  绕短轴  $PP_1$  旋转而成。旋转椭球体的形状和大小，是由下列三个元素决定的。

长半径  $a$  (赤道半轴)

短半径  $b$  (地轴半轴)

$$\text{椭球体扁率 } \alpha = \frac{a-b}{a}$$

建国以来，我国采用的旋转椭球体三元素值的数据为：

$$a = 6378.245 \text{ 公里}$$

$$b = 6356.863 \text{ 公里}$$

$$\alpha = 1:298.3$$

随着测绘科学技术的不断发展，尤其是人造地球卫星的发射，地球元素的成果必将越来越接近其真实形状。

从上可知，地球是旋转椭球体，而扁率又是很小的，极接近于圆球体。普通测量中所讨论的是地球表面上一个小区域的测绘工作，因此，可以认为地球是相当于一个等半径的球体，半径取三个半轴的平均值，即：

$$R = \frac{1}{3}(a + a + b) = 6371.118 \text{ 公里} \quad (1-1)$$

在计算时取近似值为 6371 公里，精度足够满足要求。

#### 第四节 确定地面上点的位置

数学中要确定空间任一点的位置，可用空间直角坐标的三个量  $x, y, z$  来表示。测量中

要确定地面上任一点的位置,也必须用三个量来表示。其中二个量是地理座标,即经度  $\lambda$ , 纬度  $\varphi$ , 或平面直角坐标  $x, y$  表示; 另一个量是高程。现分述如下:

### 一、地 理 座 标

地面上任一点的位置,在球面上通常是用经纬度表示的。以经纬度来确定地面点的绝对位置,称为地理座标。

图 1—2, 过地球表面上任一点  $M$  与地球自转轴  $PP_1$  所组成的平面,称为子午面,该面与地球表面的交线,称为过  $M$  点的子午线,又称真子午线(经线)。垂直于地轴的任一平面与球面的交线,称为纬圈(纬线)。过地轴中央  $O$  且垂直于地轴的平面,称为赤道面。赤道面与地球表面的交线,称为赤道。要确定地球表面上某一点的经纬度,必须先分别确定测量经度的起算面和纬度的起算面。

经国际天文学会决议,以通过英国伦敦格林威治天文台原址的子午面,称为首子午面或称起始子午面(零度经线)。以它作为经度的起算面。这样过  $M$  点子午面与首子午面的夹角,即为该点的经度,以“ $\lambda$ ”表示。经度由首子午面向东量度,称为东经,向西量度,称为西经。其值各由  $0^\circ \sim 180^\circ$ 。

国际规定将赤道面作为纬度的起算面。过  $M$  点的法线与赤道面的夹角,即为该点的纬度,以“ $\varphi$ ”表示。纬度自赤道面向北量度,称为北纬,向南量度,称为南纬。其值各由  $0^\circ \sim 90^\circ$ 。

同时可以看出,同一经线上各点的经度相等。同一纬线上各点的纬度相等。首子午面和赤道面均为地理座标起算面。若已知某地面点的经纬度,则该点在地球表面上的位置就可确定下来。

### 二、平面直角座标

小区域测量,可以将地球表面看作是平面(即半径为10公里的范围)①。地面上一点的相对位置,在平面上是用直角座标表示的。

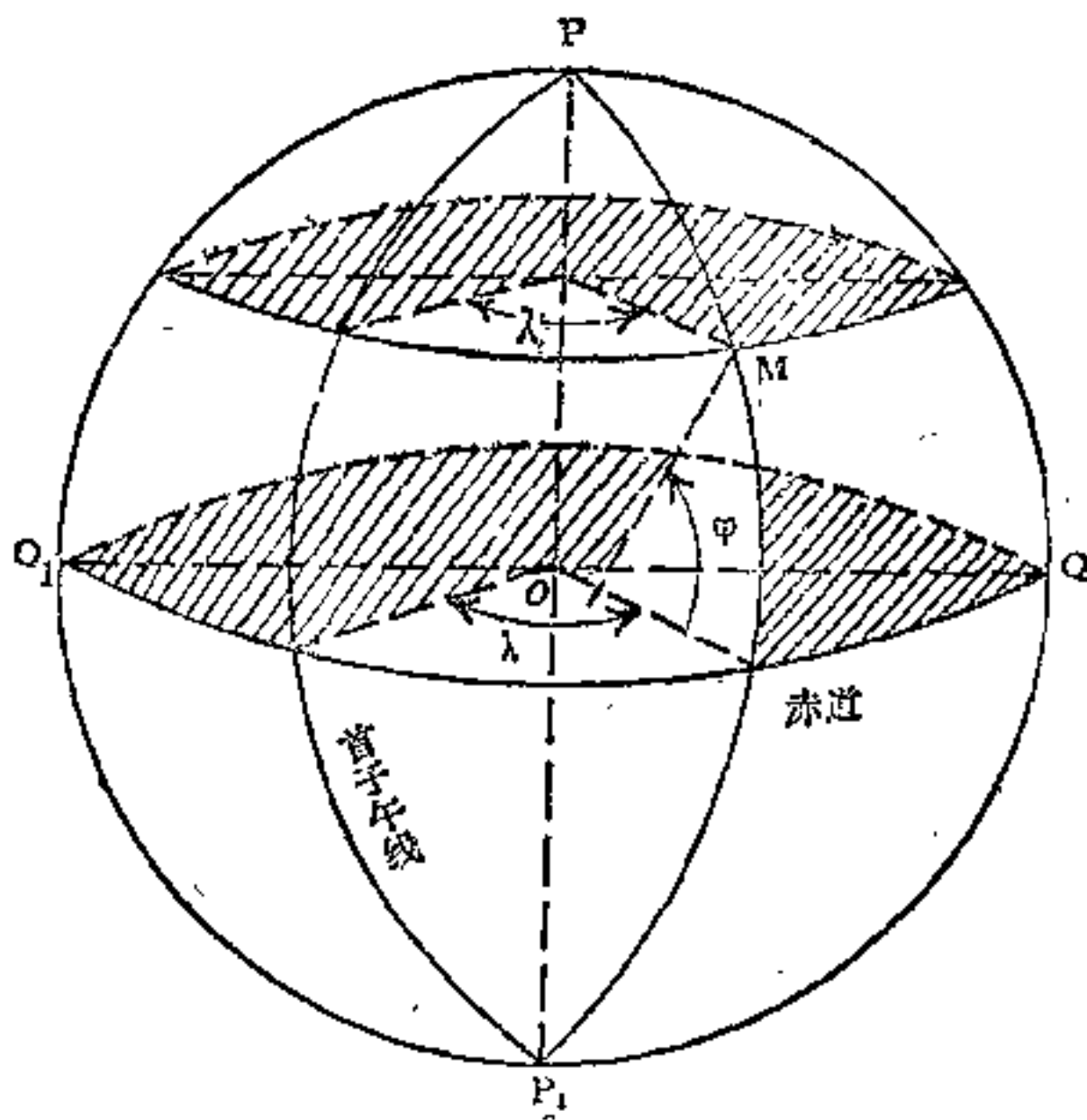


图 1—2 地理座标

① 水准面可以看作水平面的限度,从对距离和高差的影响加以讨论。

(一) 距离影响 如右图, 设球心为  $O$ , 半径为  $R$  的球面为水准面,  $A, B$  为水准面上的两点,  $\widehat{AB}$  所对的圆心角为  $\theta$ 。若过  $A$  作水准面的切面, 该切面即称水平面。水平面与  $OB$  延长线的交点为  $B'$ 。则  $A, B$  两点在水准面上的长度  $\widehat{AB}$  与在水平面上的长度  $AB'$ , 分别为:

$$\widehat{AB} = R\theta$$

$$AB' = R \operatorname{tg} \theta$$

距离误差  $\Delta D$  为

$$\Delta D = AB' - \widehat{AB} = R (\operatorname{tg} \theta - \theta)$$

若将  $\operatorname{tg} \theta$  展开成级数, 即:

$$\operatorname{tg} \theta = \theta + \frac{\theta^3}{3} + \frac{2}{15} \theta^5 + \dots$$

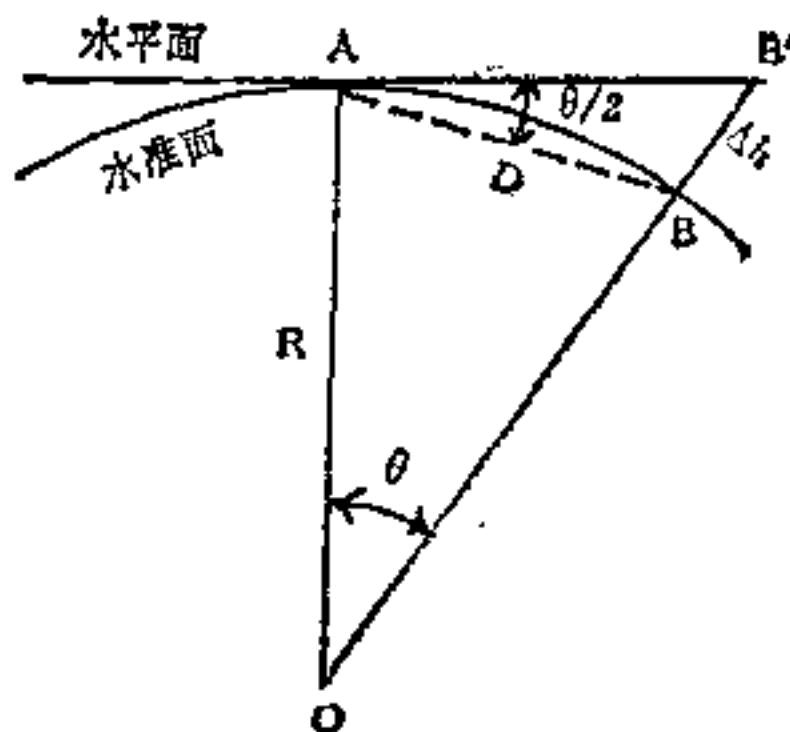
略去五次方以上各项后, 代入上式得:

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

其中 设  $\widehat{AB} = D$  则可将  $\theta = \frac{D}{R}$

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

$$R = 6371 \text{ 公里}$$



水准面作水平面的限度图

$\Delta D$  仅随着  $D$  的变化而变化, 地球弯曲对距离的影响如下表:

| 距 离 $D$ (公里)                 | 10                    | 50                 | 100                |
|------------------------------|-----------------------|--------------------|--------------------|
| 距离误差 $\Delta D$ (厘米)         | 1                     | 102                | 821                |
| 相 对 误 差 $\frac{\Delta D}{D}$ | $\frac{1}{1,000,000}$ | $\frac{1}{50,000}$ | $\frac{1}{12,100}$ |

由上表可见, 距离为 10 公里时, 用水平面代替水准面所引起的距离误差很小, 仅 1 厘米, 所以在地形测量中测距时, 可不考虑地球弯曲对距离的影响。

(二) 高程影响 高程的起算面是大地水准面, 但由水平面代替水准面进行高程测量时, 所测得的高程, 必然含有因地球弯曲而产生的高程误差的影响。在上图中, 高程误差  $\Delta h = BB'$ , 由于  $R$  很大,  $D$  较短, 即  $\theta$  较小, 所以  $BB'$  可用弦切角  $\frac{\theta}{2}$  所对的弧长来表示, 即:

$$\Delta h = \frac{\theta}{2} D$$

将  $\theta = \frac{D}{R}$  代入上式

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

因  $R$  已知, 故  $\Delta h$  与  $D^2$  成正比。地球弯曲对高程的影响如下表:

| 距 离 $D$ (公里)         | 1 | 2  | 3  | 4   | 5   |
|----------------------|---|----|----|-----|-----|
| 高程误差 $\Delta h$ (厘米) | 8 | 31 | 71 | 128 | 785 |

由上表可见, 当距离为 1 公里时, 高程误差为 8 厘米, 随着距离的增大, 而高程误差会很快地增大。当进行三角高程测量时, 即使是在较短的距离内, 也必须考虑地球弯曲对高程的影响。



北林图 A00057771

332925

平面直角坐标是两个互相垂直的坐标轴 $X$ 和 $Y$ 所构成。如图1—3所示,两轴线的交点 $O$ 为坐标原点, $OX$ 为纵轴, $OY$ 为横轴。

地面上任一点 $A$ 在平面上的位置,由该点至纵横坐标轴的垂距 $A_{x1}$ 、 $A_{y2}$ 来确定的。 $A_{x1}$ 为 $A$ 点的纵坐标,用“ $x$ ”表示, $A_{y2}$ 为 $A$ 点的横坐标,用“ $y$ ”表示。

通常直角坐标的纵轴 $X$ 与子午线方向一致,令坐标纵轴指北为正,指南为负,坐标横轴指东为正,指西为负。平面直角坐标系中的I、II、III、IV象限的顺序与数学上的顺序相反,按顺时针方向排列,而 $X$ 轴和 $Y$ 轴也与数学上的 $X$ 轴和 $Y$ 轴位置互易,这是因为测量上的规定,并考虑到应用三角公式进行计算时,可以不加任何改变,直接应用。

### 三、高 程

有了地理坐标或是平面直角坐标,虽可确定一点在球面或平面上的位置,但还不能确切地表示地球表面上一点的位置,因为地球表面是高低起伏不平的,所以还需确定它的高程。

确定地面点的高程,关键问题是如何选择一个起算面。前面已经介绍了大地水准面,并假定它是一个静止不动的海水面,以这样一个面作为高程的起算

面,是较为理想的。然而海水面不可能是静止的,由于地球受月亮引力的作用,海水会产生涨潮和落潮的现象,加上地球本身在运转,所以海水面并不是静止不动的,而是时刻在变动的。那么,怎样根据不断变化的海水面确定高程起算面呢?我国是根据1950—1956年7月间青岛验潮站的验潮资料,求得黄海平均海水面(即大地水准面)的高度,为了使用方便,又在验潮站附近设立了水准原点,于1956年推算出青岛水准原点的高程,作为全国高程的起算点,因此,由该点推算的全国所有高程,即自黄海平均海水面起算,称为“1956年黄海高程系”。

从地面上任一点至水准面的垂直距离,称为该点的高程。如图1—4所示,如是到大地水准面 $P_0P_0$ (即平均海水面)的垂直距离,称为该点的绝对高程或称海拔高。地面上 $A$ 、 $B$ 两点的绝对高程分别为 $H_A$ 、 $H_B$ 。如是到任一假定水准面 $P_1P_1$ 的垂直距离,称为该点的相对高程,分别为 $H_a$ 、 $H_b$ 。地面上两点高程之差,称为高差或称比高。高差是

相对的,其值可正可负,如图1—4中, $B$ 点到 $A$ 点的高差 $h_{BA} = H_A - H_B$ 其值为正,反之 $A$ 点到 $B$ 点的高差 $h_{AB} = H_B - H_A$ 其值为负。同理 $h_{BA} = H_a - H_b$ 为正, $h_{AB} = H_b - H_a$ 为负。

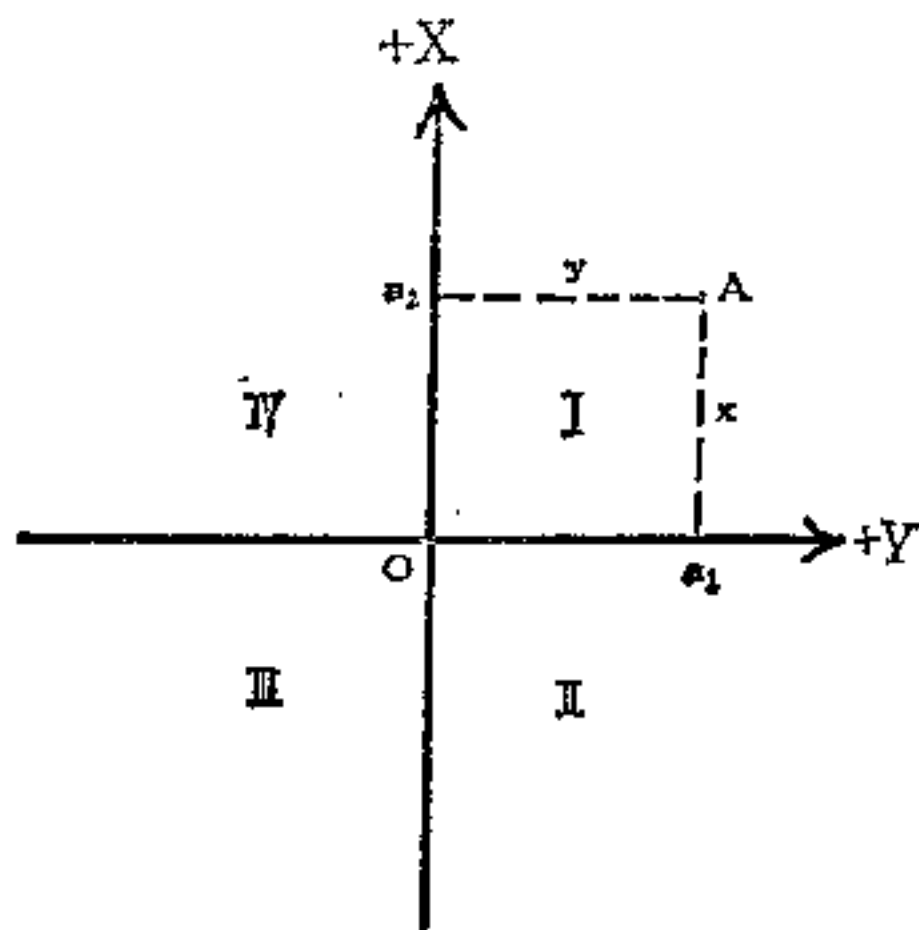


图1—3 平面直角坐标

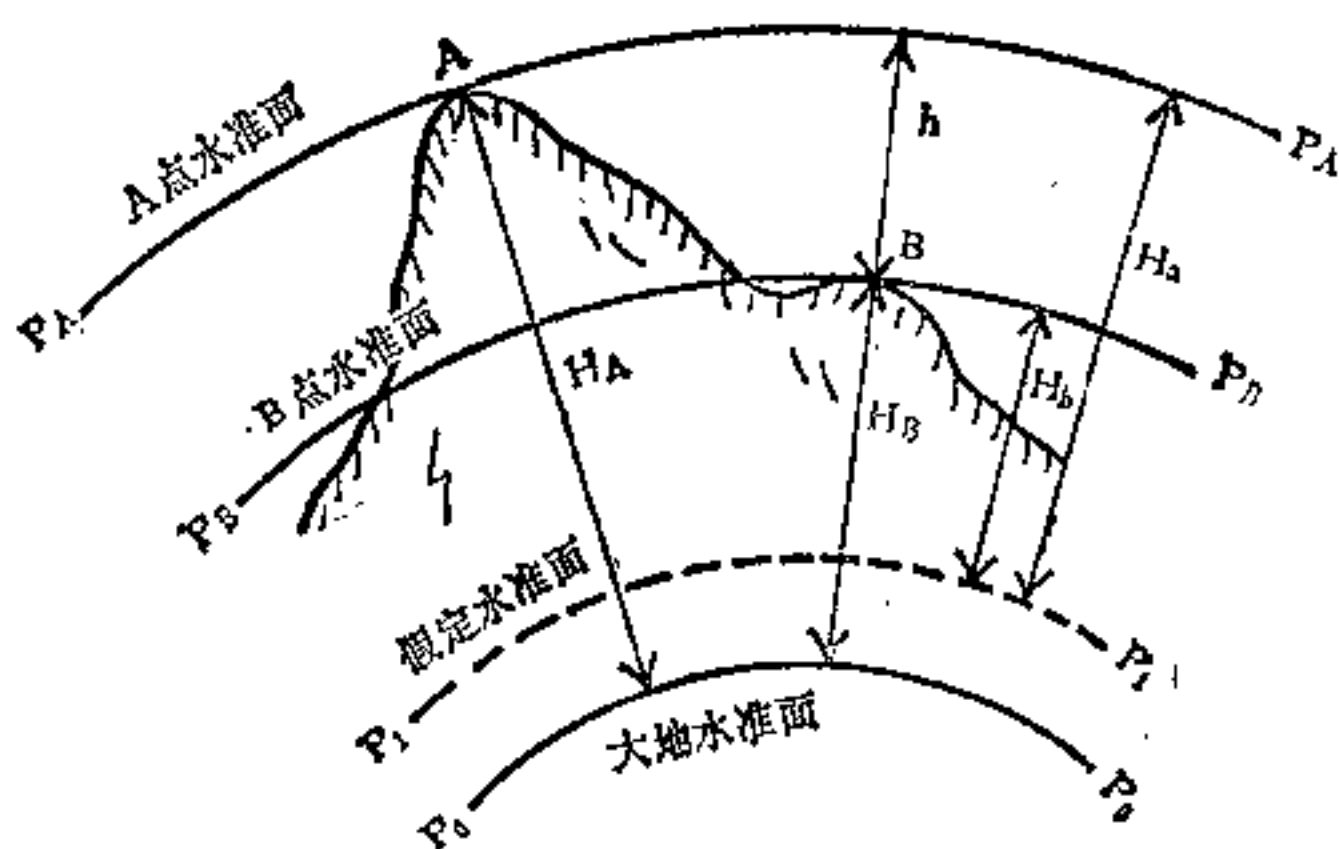
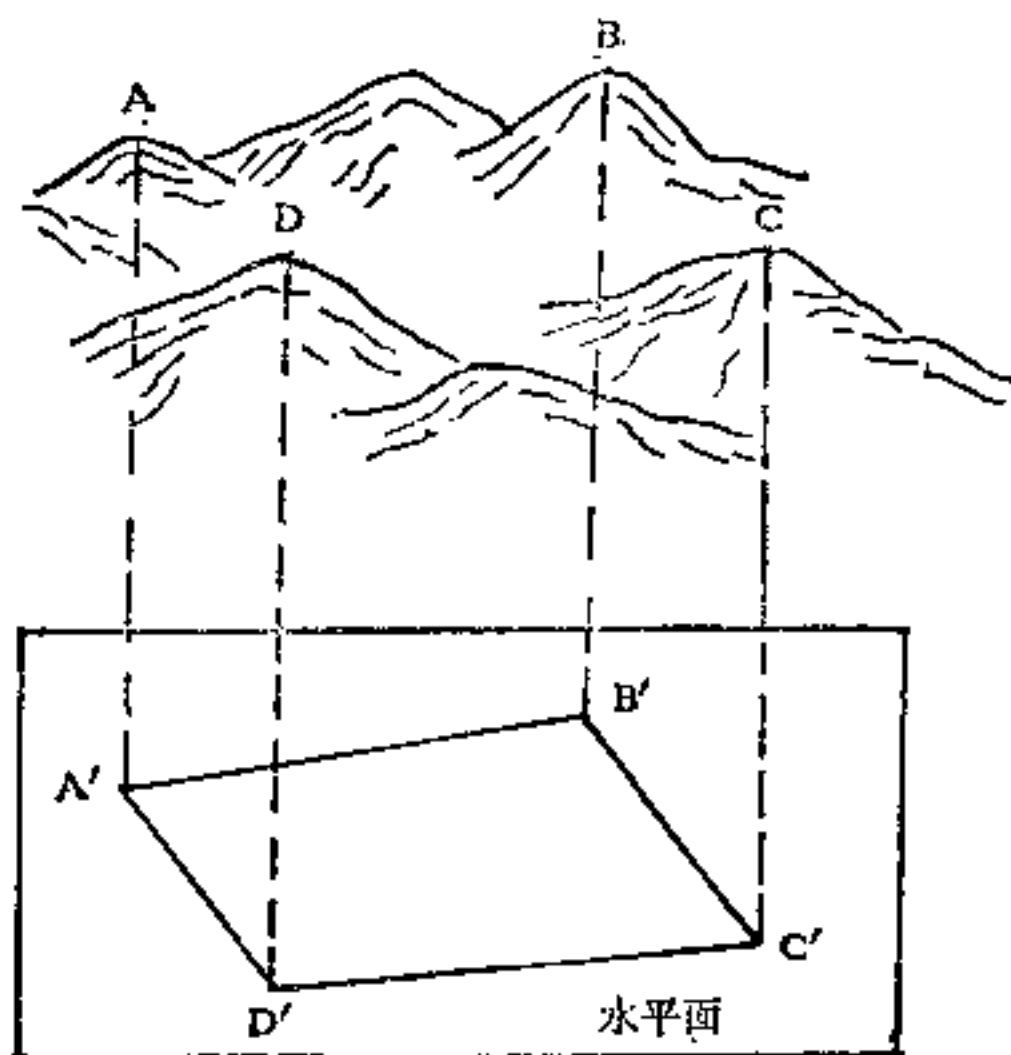


图1—4 高程

## 第五节 平面图、地图、地形图和断面图

### 一、平面图

由前所知,小范围内的水准面可以认为是水平面。这样,垂直于水准面的铅垂线,也可认为是垂直于水平面,而且是互相平行的。如图1—5所示,地面上图形 $A$ 、 $B$ 、 $C$ 、 $D$ ,各点位于不同的水平面上。如分别过各点作铅垂线 $AA'$ 、 $BB'$ 、 $CC'$ 、 $DD'$ ,它们必与水平面正交且互相平行。其交点所构成的图形为 $A'$ 、 $B'$ 、 $C'$ 、 $D'$ 。这种使小范围内的地面图形 $A$ 、 $B$ 、 $C$ 、 $D$ 沿铅垂线方向投影到水平面上而得相应图形 $A'$ 、 $B'$ 、 $C'$ 、 $D'$ 的方法,称为垂直投影。如将图形 $A'$ 、 $B'$ 、 $C'$ 、 $D'$ 按一定比例缩小成相似图形 $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$ ,这种图形即为实际图形 $A$ 、 $B$ 、 $C$ 、 $D$ 的平面图。所以平面图即是地面图形在水平面上投影的缩小图形。其特点是图形相似,对应角度相等,相应边长成比例。



### 二、地 图

平面图是指小范围内不考虑地球曲率,采用垂直投影的方法绘制成的。如果测绘大范围地面图形时,必须考虑地球曲率的影响。这时旋转椭圆球面上的图形,如仍采用垂直投影的方法制成平面图,图上误差必然很大,不符合测量要求。为此必须采用地图投影的方法。将大范围的旋转椭圆球面上的图形,按地图投影的方法,绘制成的平面图形,称为地图。

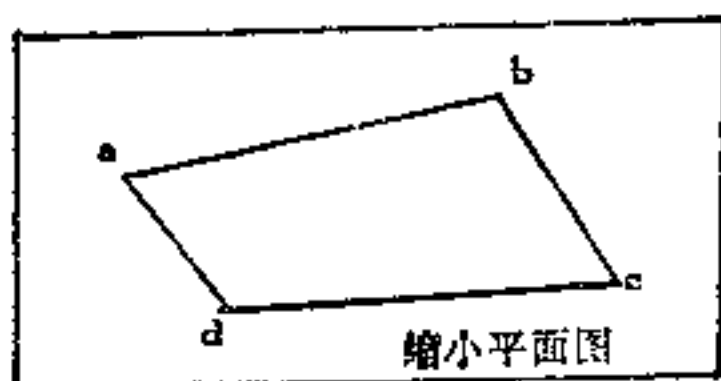


图1—5 水平投影

### 三、地 形 图

地球表面有高山、狭谷和平原,又有房屋、道路与河流。这种高低起伏的形状,称为地貌。而由人工构筑和自然形成的物体,如居民点、铁路、道路、水系等称为地物。在图上既表示地物,又表示地貌的图,称为地形图。

根据不同的需要,在图上有重点地表示某些专门内容的图,称为专门用图。如地质图、交通图、水系图等。

### 四、断 面 图

断面就是竖直平面与地面相截的截面,而竖直平面与地面相截的交线,称为断面线。为

了了解地面某一方向起伏情况,就要绘出该方向的断面线,这种图形,称为断面线图,简称断面图。

## 第六节 比例尺及比例尺的精度

### 一、比例尺的意义

为了测绘和使用平面图或地形图,不可能将地球表面的形状和物体按真实大小描绘在图纸上,而是按一定比例缩小后用规定的符号在图上表示出来。图上距离  $d$  与实地相应的水平距离  $D$  之比,称为该图的比例尺。可用下式表示:

$$\frac{1}{M} = \frac{d}{D} \quad (1-2)$$

比例尺是用以分子为 1 的分数表示,式中的  $M$  称为比例尺分母,并以整数的形式表示。

### 二、比例尺的种类

由于测图和用图的需要,比例尺按表示的方法不同,分为数字比例尺、直线比例尺和复式比例尺三种。

(一) 数字比例尺 用分数或数字比例形式表示的比例尺,称为数字比例尺。测图中常用的比例尺有  $\frac{1}{5000}$ 、 $\frac{1}{10000}$ 、 $\frac{1}{25000}$  等等。也可写成 1:5000、1:10000、1:25000 等等。特点

是直观。如某幅图的数字比例尺已知,可用计算方法将图上长度换算为实地相应的水平距离,反之也可将实地平距换算为图上相应的长度。

例 当图的比例尺为 1 : 25000, 图上两点间的长度  $d = 1.2$  厘米, 求地面上相应平距  $D$ 。

【解】从 (1-2) 式可知,

$$\frac{1}{M} = \frac{d}{D}$$

则  $D = d M$

将数值代入得:

$$D = 1.2 \text{ 厘米} \times 25000 = 300 \text{ 米}$$

例 已知实地两点间平距  $D = 1180$  米, 若要化算为 1 : 25000 比例尺, 求图上相应的长度  $d$ 。

【解】依 (1-2) 式:

$$d = \frac{D}{M} = \frac{1180 \text{ 米}}{25000} = 4.72 \text{ 厘米}$$

应当指出的是: 比例尺的分母愈大, 比例尺愈小, 反之比例尺分母愈小, 则比例尺愈大。所谓比例尺的大小, 是由一种比例尺与另一种比例尺相比较时, 如某一种比例尺在图上对同一地物所画出的图形比较大, 则该比例尺为较大的比例尺。

(二) 直线比例尺 数字比例尺能使我们对图形缩小程度具有一般概念, 使用时经过计算, 虽然可以得到较准确的结果, 但速度较慢, 容易出错。因此, 测量上采用了以线段代替

数字的方法。

用一定长度的线段表示图上长度，并按它所相应的实地平距注记在线段上，这种用线段和注记表示的比例尺，称为直线比例尺。如图 1—6 所示，在一条直线上截取若干相等的线段，每一线段称为比例尺的基本单位，线段长取

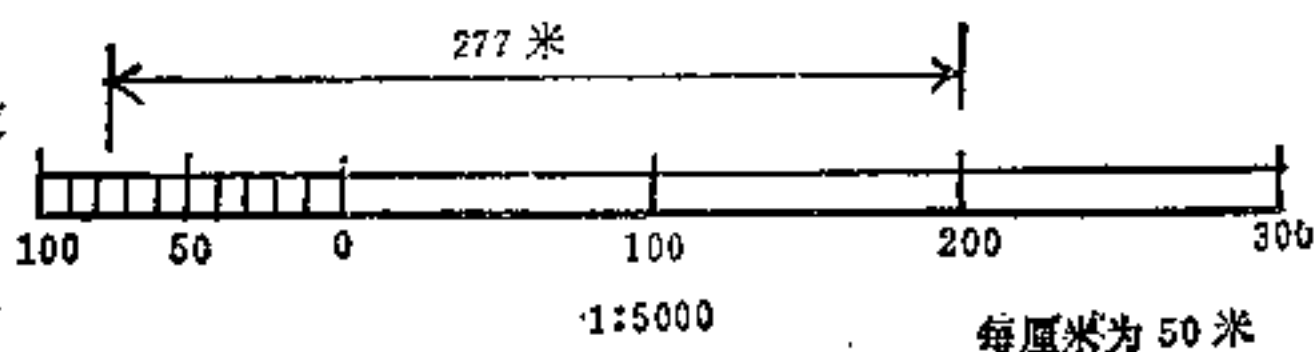


图 1—6 直线比例尺

2 厘米。将最左边一段，又等分为 10 小段。对于某种比例尺来说，直线上的每一段或小段都表示一定的平距，所以，以线段最左边一段的右端为零点，分别按一定比例在每一段的截取处注出由零点起所表示的实地平距，直线比例尺即制成。利用直线比例尺，虽然减少了实地平距与图上距离相互换算时的计算工作，但在直线比例尺上估读的精度是较低的，它只能估读到最小格值的十分之一。比例尺愈小，误差愈大。

直线比例尺的使用：设从 1 : 5000 比例尺平面图上，用两脚规量取图上两点间的直线长度，求相应的实地平距时，将两脚规置于 1 : 5000 直线比例尺上，以右脚精确地放在零点右边适当的分划线上，同时使它的左脚放在零点左边的某一分划内，然后以右脚指出的读数加上左脚所指出的读数，就得出相应于实地平距，如图 1—6 中为 277 米。

(三) 复式比例尺 复式比例尺又称斜线比例尺。从直线比例尺的应用中可知，它只能直接读出基本单位的十分之一，而百分之一是用眼睛估读的。为了能直接量到百分之一基本单位，并能保证精度，可使用复式比例尺。如图 1—7 所示为 1 : 10000 复式比例尺。

1. 在  $AF$  直线上按基本单位长度截取若干分点。
2. 过各分点作  $AF$  的垂直线，其长度一般均取一个基本单位的长度。
3. 将垂直线分为十等分，过各分点作  $AF$  的平行线。
4. 将最左边基本单位的上线  $CD$  和底线  $AB$  各分成十等分，得分点 1、2、3…… $E$  及  $1'$ 、 $2'$ 、 $3'$ …… $9'$ ，用斜线连接  $C1'$ 、 $12'$ 、 $23'$ …… $EB$ 。
5. 按 1 : 10000 比例尺注出各分点相应的实地平距，即成 1 : 10000 的复式比例尺。

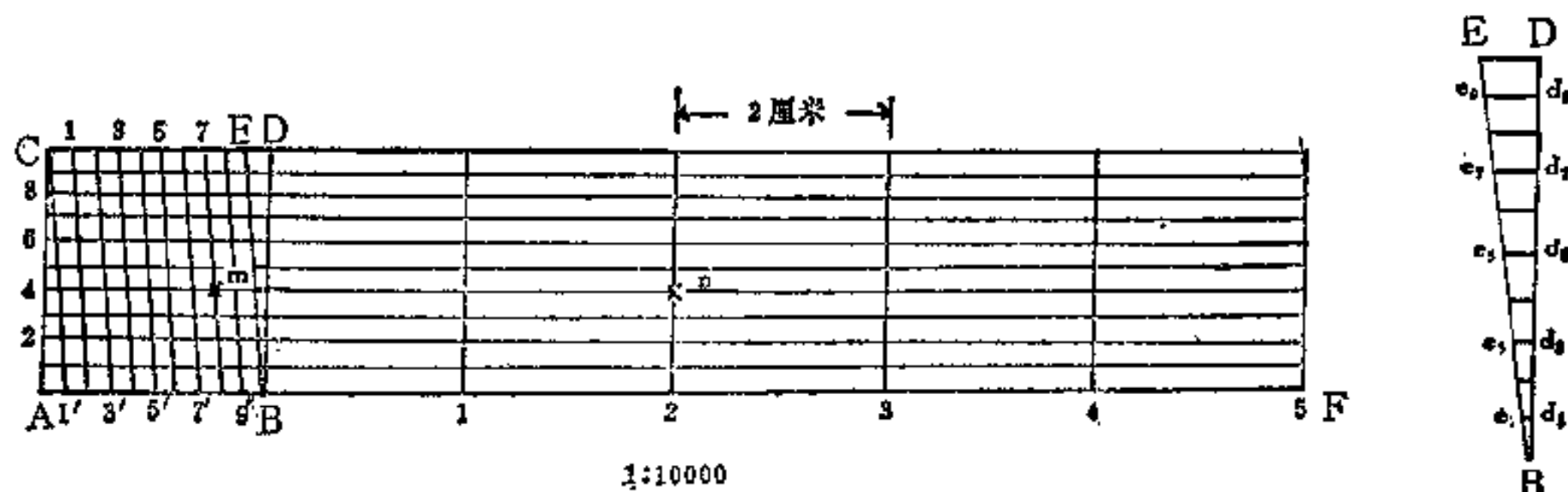


图 1—7 1:10000 复式比例尺

复式比例尺的用法与直线比例尺用法大致相同。图 1—7 中的  $m$   $n$  为图上长度，而实地平距为 448 米。