

96559

中等专业学校试用教材

地形测量学

南京地质学校测量教研组



地质出版社

地形测量学

南京地质学校测量教研组

我们根据第一级水准测量的原理，按以下公式计算，可以得到：

地质出版社

$$K \cdot S_1 = K \cdot S_2$$

内 容 简 介

本书讲述大比例尺地形测量的基本原理及观测计算方法。内容分为八章，主要有三部分：第一部分简要叙述测量学的基本知识，讲述解析图根控制测量使用的仪器、观测和计算方法；第二部分叙述视距测量，大比例尺平板仪地形测量的有关知识及其测量方法；第三部分叙述测量误差理论的知识以及对图根控制测量精度的分析。本书内容密切结合生产实际，按照国家有关规范进行讲述，并介绍了部分新仪器、新技术。章节编排和文字叙述力求由浅入深、通俗易懂，便于自学。

本书可作为中等专业学校地形测量和航空摄影测量专业的教材及有关专业师生的教学参考书，也可供测绘工作人员学习参考之用。

中等专业学校试用教材

地形测量学

南京地质学校测量教研组

*

国家地质总局教育组教材室编辑

地质出版社出版

张家口地区印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

1978年7月北京第一版·1978年7月北京第一次印刷

统一书号：15038·新293·定价1.80元

前 言

根据国家地质总局教材工作会议的精神，为编写适合中等专业学校的教材，我校在总结教育革命经验，调查研究，征求有关方面的意见，在原有教材的基础上编写了这本《地形测量学》。

本教材共分为八章。介绍了测量学的基本知识和地形测量中常用的以国产仪器为主的水准仪、经纬仪、平板仪等几种仪器，并结合生产实践阐述了从图根控制测量到大比例尺平板仪地形测图的基础理论和主要方法。介绍了一些新仪器和新技术，充实了内容，加强了基本知识训练，紧密结合国家现行规范。对原教材的章节也作了适当的调整。最后部分讲述了误差理论的基本知识，增加了例题，对图根控制测量的精度和限差作了初步的分析讨论，使误差理论和地形测量中的某些实际问题结合起来。教材的文字叙述力求通俗易懂。便于自学和复习。

本教材编写时间仓卒，更由于我们政治水平较低，业务水平有限，所以一定存在不少问题。诚挚的希望使用本教材的同志们给予我们热情的帮助并提出宝贵的意见，以便在今后教育革命实践中不断修改提高，使它更加完善。

南京地质学校

218 测量学概论 1-8

219 大地测量学 2-8

220 地形测量学 3-8

221 工程测量学 4-8

222 制图学 5-8

223 测量学的发展 6-8

绪 论

测量学是研究地球形状和大小的科学。它要解决的问题有三方面：一是精确测定整个地球的形状和大小，二是将地球表面局部范围内的形状和物体测绘成地图，三是进行工农业建设和国防建设所需的测量工作。随着科学技术的发展，测量学又分成几个独立的部门：

大地测量学 主要任务是在地球表面大范围内，精密地测定一系列大地控制点的位置，用以研究地球的形状和大小，并作为其他测量工作的基础。

地形测量学 它的任务是将地表面小范围内的形状、物体测绘成地形图。但在成图时，可根据不同情况，采用平板仪地形测图，或采用在空间拍摄的地面象片测绘成地形图，亦即采用航空摄影测量的方法成图。

制图学 它的任务是按一定的数学原理，利用已有的测量成果、成图，编制、印刷和出版各种地图。

工程测量学 它的任务是解决城市、工矿、农田水利、交通等建设中的测量问题。

上述的四个学科，既自成系统分工明确，又是紧密联系互相配合的。

我们伟大的社会主义祖国，土地辽阔富饶，需要我们去绘出最新最美的图画；有无穷无尽的天然资源，需要我们去开发利用；为了防止社会帝国主义、帝国主义的侵略、颠覆，还必须要有强大的国防力量。在建设和保卫祖国的伟大事业中，测绘工作是一个不可缺少的组成部分。

在国防事业中，测量工作有着重大的作用。人们形象地把地形图称为“指挥员的眼睛”和“参谋”。在现代战争中，从作战计划的制定到指挥各兵种、军种的联合作战和洲际导弹的发射等，都需要各种类型的地形图和进行各种测量工作。

在地质普查、勘探和矿区的各种工程建设和开采中，需要各种类型的地图和进行各项测量工作。

铁路、公路、桥梁、隧道的勘选、施工，城市、农田、水利的规划和建设，各项科学考查，也都离不开地形图和测量工作。

由上述可见，测量学在各项建设事业中，都得到广泛的应用，所以人们称测量工作是社会主义建设事业的“尖兵”。

恩格斯说：“科学的发生和发展一开始就是由生产决定的。”毛主席也指出：“首先，马克思主义者认为人类生产活动是最基本的实践活动，是决定其它一切活动的东西”。测量学这门古老的科学，就是在人类的生产活动不断地向深度广度进军的过程中，在阶级斗争和科学实验中，从无到有，从低级到高级地建立和发展起来的。

中国是世界上历史文化悠久的古国之一。我国的人民是勤劳、智慧的人民。历史上曾有过许多伟大的思想家、科学家、发明家和文学艺术家，对世界的文化、科学的发展，有过许多卓越的贡献。测量学在我国的产生是很早的。据传述的历史记载，在夏禹治水时，劳动人民已采用了准、绳、规、矩这些简单的测量工具。很早以前，劳动人民已经知道用磁石制造

指定方向的工具。在三千多年前的《管子》一书中，已有关于地图作用的论述。公元一世纪时，汉人张衡已制造了科学而又精确的天文测量仪器——“浑天仪”。公元三世纪，晋人裴秀总结了劳动人民的制图经验，拟定了编制地图的规范，称为“制图六体”，即道里（距离）、准望（方向）、高下（地形起伏）、方邪（地物形状）、迂直（河流、道路的曲直）、分率（比例尺）。公元742年曾在河南的滑县到上蔡一带，直接丈量了300公里长的子午线弧长，并用日圭测太阳照射物体的阴影以定纬度。这是我国第一次用弧度测量的方法决定地球的形状和大小。在公元十三世纪和十八世纪初，我国都进行过较大规模的大地测量工作。在十八世纪初还根据大地测量的成果编制了全国地图。

由于经济、文化和科学技术上的需要，测量学在世界各国很早就产生了，并随着人类的生产活动的发展而不断发展着。埃及和亚述—巴比伦劳动人民，在与洪水作斗争中，在建设灌溉工程和划分土地疆界的工作中，都应用了测量学的知识。希腊人发展了几何学、代数学也促进了测量学的发展。公元七世纪，阿拉伯人将中国的指南针传到欧洲，对测量中定向的问题，作出了重大贡献。公元十七世纪，哥白尼、加里略、牛顿等科学家，在光学和力学上的成就，以及三角学在测量中的广泛应用，尤其是望远镜的发明，都大大促进了测量学的发展。十九世纪德国人高斯，在地图投影和测量平差方面作出了重大贡献。二十世纪二十年代航空摄影测量的应用，开始了测量工作的机械化时代。六十年代以来，由于近代光学、电子学、人卫摄影和航天技术的迅猛发展，为测量技术的机械化、自动化、电子化开辟了广阔的前景。多普勒卫星观测为建立全球性大规模大地控制网和全球性统一坐标系提供了可能性。利用遥感资料编制海底地图以及电子计算机、电磁波测距的广泛应用，显著地提高了测绘工作的效率，并大大减轻了工作中的繁重劳动。因此可以说测量学正处在技术大革新的时代。

我国在解放前，由于封建势力的长期统治和在三座大山的压迫下，严重地阻碍了我国生产力的发展，测量事业处于极端落后的状况。当时进行的一点测量工作所获得的成果，也是大多数质量低劣，不堪应用。

新中国成立后，在中国共产党和伟大领袖毛主席的英明领导下，我国测绘事业得到了迅速的发展。解放不久，建立了全国统一的测量机构，并积极培养测绘技术人员。在十年内，建立全国范围大地控制网的工作基本完成，并施测了大量的国家基本地形图。在治淮、治黄、根治海河和长江流域规划等勘测工作中，施测了各种比例尺的地形图。为开发矿业和进行工矿、农田水利、城市、交通等各项建设，有关部门测制了大比例尺地形图并进行了工程测量工作。在进行雄伟壮丽的人民大会堂、北京地下铁道、南京长江大桥、新安江水电站以及在西南丛山峻岭修建铁路等巨大建设工程中，测量工作都是不可缺少的一部分。在科学研究及科学考察活动中，我国的测量工作者和有关科学工作者协同努力，克服了各种艰难险阻，精确地测定了珠穆朗玛峰的高度，并对喜马拉雅山区进行了较全面的综合科学考察。至于国防建设所进行的测量工作，更是巨大的。我国测绘仪器制造业，在较短的时间内从无到有，现在不仅能制造普通的测绘仪器和航测仪器，某些精密仪器已试制成功，有的已达到先进水平。测绘科研工作也取得了一定的成绩。

当前，我国社会主义革命和建设已经进入一个新的发展时期。在建设和保卫伟大的社会主义祖国的事业中，测绘工作者应当又红又专，为革命努力钻研测绘科学技术，为在本世纪

内实现四个现代化的宏伟目标作出自己的贡献。《工人日报》曾刊载：测量学是一门精细严密的科学，测量工作的高质量是保证各项工程建设高质量的重要环节。因此必须学习大庆人的优良作风，把冲天的革命干劲和实事求是的科学态度结合起来，对党和人民的事业忠心耿耿，对技术精益求精，多、快、好、省地完成任

测绘工作是艰苦而又光荣的工作，毛主席教导我们：“与天奋斗，其乐无穷！与地奋斗，其乐无穷！与人奋斗，其乐无穷！”这就是无产阶级的苦乐观、幸福观。只有树立了无产阶级的世界观，发扬一不怕苦，二不怕死的革命精神，才能更好地担负起光荣而艰巨的任务，为建设和保卫社会主义祖国而奋斗。

测量学是一门精细严密的科学，测量工作的高质量是保证各项工程建设高质量的重要环节。因此必须学习大庆人的优良作风，把冲天的革命干劲和实事求是的科学态度结合起来，对党和人民的事业忠心耿耿，对技术精益求精，多、快、好、省地完成任

测绘工作是艰苦而又光荣的工作，毛主席教导我们：“与天奋斗，其乐无穷！与地奋斗，其乐无穷！与人奋斗，其乐无穷！”这就是无产阶级的苦乐观、幸福观。只有树立了无产阶级的世界观，发扬一不怕苦，二不怕死的革命精神，才能更好地担负起光荣而艰巨的任务，为建设和保卫社会主义祖国而奋斗。

测量学是一门精细严密的科学，测量工作的高质量是保证各项工程建设高质量的重要环节。因此必须学习大庆人的优良作风，把冲天的革命干劲和实事求是的科学态度结合起来，对党和人民的事业忠心耿耿，对技术精益求精，多、快、好、省地完成任

测绘工作是艰苦而又光荣的工作，毛主席教导我们：“与天奋斗，其乐无穷！与地奋斗，其乐无穷！与人奋斗，其乐无穷！”这就是无产阶级的苦乐观、幸福观。只有树立了无产阶级的世界观，发扬一不怕苦，二不怕死的革命精神，才能更好地担负起光荣而艰巨的任务，为建设和保卫社会主义祖国而奋斗。

目 录

绪论

第一章 测量学的基本知识	1
§ 1-1 测量上常用的度量单位	1
§ 1-2 地球形状和大小的概念	2
§ 1-3 平面图、地图、地形图	3
§ 1-4 比例尺	4
§ 1-5 地形测量工作的概念	7
第二章 水准测量	10
§ 2-1 高程测量概述	10
§ 2-2 水准测量的基本原理	11
§ 2-3 望远镜的基本结构与调节	13
§ 2-4 水准器	15
§ 2-5 水准仪、水准标尺及尺垫	18
§ 2-6 测量仪器的使用和保养	20
§ 2-7 水准仪的检查校正	21
§ 2-8 水准测量	24
§ 2-9 水准路线的高程计算	31
§ 2-10 水准测量的主要误差来源	33
第三章 角度测量	35
§ 3-1 角度测量的概念	35
§ 3-2 光学经纬仪	36
§ 3-3 水平角观测	38
§ 3-4 垂直角观测	42
§ 3-5 经纬仪的检查校正	46
§ 3-6 水平角观测的误差	49
第四章 解析图根测量	51
§ 4-1 图根点的作用及其敷设形式	51
§ 4-2 经纬仪导线测量	53
§ 4-3 坐标计算的基本原理	60
§ 4-4 测量计算数字凑整规则	65
§ 4-5 经纬仪闭合导线计算	67
§ 4-6 经纬仪附合导线计算	71
§ 4-7 线形锁和测角交会	78

§ 4-8	手摇计算机的使用	79
§ 4-9	线形锁的近似平差计算	85
§ 4-10	单三角形的计算	99
§ 4-11	前方交会点的计算	101
§ 4-12	侧方交会点的计算	104
§ 4-13	后方交会点的计算	106
§ 4-14	钟山DS—102A台式测地计算机简介	125
第五章	三角高程测量	131
§ 5-1	三角高程测量的原理	131
§ 5-2	独立交会高程点	133
§ 5-3	多角高程导线	134
第六章	视距测量	137
§ 6-1	视距测量原理	137
§ 6-2	视距尺	140
§ 6-3	视距乘常数的测定	142
§ 6-4	视距计算表与视距计算尺	144
§ 6-5	视距导线测量	150
§ 6-6	视距测量的精度	152
§ 6-7	光学楔镜视距仪	152
§ 6-8	等差级数视距仪	156
第七章	大比例尺平板仪地形测图	160
§ 7-1	概述	160
§ 7-2	地形图的分幅与编号	160
§ 7-3	高斯投影分带和平面直角坐标	166
§ 7-4	平板仪	172
§ 7-5	平板仪的检查校正	175
§ 7-6	平板仪测图的准备工作	177
§ 7-7	图解交会法	181
§ 7-8	平板仪导线测量	187
§ 7-9	图上显示地形的的方法	189
§ 7-10	测定地形特征点的方法	193
§ 7-11	测站点上的工作	195
§ 7-12	大比例尺地形测图	198
§ 7-13	地形测图的结束工作	208
第八章	测量误差理论基础	210
§ 8-1	测量误差概述	210
§ 8-2	偶然误差的特性	211
§ 8-3	衡量精度的标准	212

§ 8-4 极限误差和相对误差 215

§ 8-5 误差传播定律 216

§ 8-6 算术平均值及其中误差 226

§ 8-7 同精度观测值的中误差 228

§ 8-8 同类量同精度双观测值的中误差 233

§ 8-9 测量权的概念 235

§ 8-10 观测值函数的权 240

§ 8-11 带权算术平均值及其中误差 243

§ 8-12 单位权中误差 244

§ 8-13 图根控制测量精度和限差的分析 248

第一章 测量学的基本知识

§1-1 测量上常用的度量单位

测量工作中常用的度量单位，可分为长度、角度和面积三种。

一 长度单位

国际上通用的长度单位为米制（或称公尺制）。我国在测量工作中也规定采用米制，这样就和国际上统一起来。但在日常生活中，广大群众仍习惯以市尺为长度单位。

1米 (m) = 10分米 (dm) = 100厘米 (cm) = 1000毫米 (mm)。

1公里 = 1000米 (可写为1km或1千米)

1米 = 3市尺

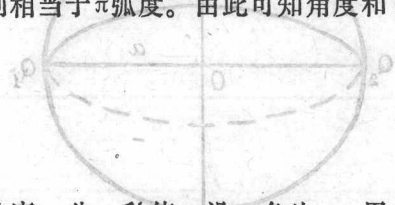
1公里 = 2市里

1市里 = 500米 = 1500市尺

二 角度单位

测量上常用的角度单位为60等分制的度。一个圆周分为360度(°)，1度(°) = 60分(')，1分(') = 60秒(")。有的国家采用百进制的新度，每圆周为400°(新度)，每一直角为100°，1° = 100°(新分)，1° = 100°(新秒)。

测量工作中，在推导公式和进行计算时，常常需要用弧度作为度量角度的单位，即以弧度表示角度的大小。圆周上的一段弧长和该圆半径的比值，就是该弧所对圆心角的弧度值。如果弧长和半径相等则比值为1，就以这样的弧长所对的圆心角为一个弧度值，通常以ρ表示。整个圆周360°若用弧度表示则相当于2π弧度，180°则相当于π弧度。由此可知角度和弧度的关系如下：



$$\rho^\circ = 180^\circ / \pi = 57^\circ.2957795 = 57^\circ 17' 44'' 806$$

$$\rho' = 180^\circ / \pi \times 60' = 3437'.747 \approx 3438'$$

$$\rho'' = \rho' \times 60'' = 206264''.8 \approx 206265''$$

上面关系式中的ρ°、ρ'、ρ''就是一弧度相应于角度的度、分、秒值。设一角为α，用α̂表示α的弧度值，用α°、α'、α''表示α的度、分、秒值，则有下面的关系：

$$\alpha^\circ = \hat{\alpha} \times \rho^\circ$$

$$\alpha' = \hat{\alpha} \times \rho'$$

$$\alpha'' = \hat{\alpha} \times \rho''$$

$$\hat{\alpha} = \alpha^\circ / \rho^\circ = \alpha' / \rho' = \alpha'' / \rho''$$

三 面积单位

面积的单位是平方米 (m²)。大面积则用平方公里、公顷、亩。农业上大多用市亩为面积单位。

1 平方公里 = 100 公顷 = 1500 市亩

1 公顷 = 100 公亩 = 10000 平方米

1 公亩 = 0.15 市亩 = 100 平方米 = 900 平方市尺

1 市亩 = $6\frac{2}{3}$ 公亩

§1-2 地球形状和大小的概念

地形测量的任务是将地球表面的形状、物体测绘成地形图，因此对地球的形状和大小应有一明确的概念。

地球的自然表面上，海洋约占71%，陆地约占29%。陆地上虽然高低起伏很不规则，但最高的山峰——珠穆朗玛峰——海拔不过8848.13米，和地球半径的概值6371公里相比，只是一个很小的数值，因此可以设想以一个均衡的面来代表地球的表面。如将一静止的（不受潮汐、波浪影响）平衡状态的海洋面扩展延伸，穿过大陆和岛屿下面，并保持了处处与重力方向垂直的特性，我们把这样的闭合形体作为地球的形体，这个表面称为大地水准面。通常用经过长期观测得到的平均海水面作为大地水准面的具体位置。大地水准面所包围的球体叫做大地体，根据地球卫星拍摄的照片来看，地球的形状和上述大地体是较接近的。人们对地球形状的认识也是逐步发展的，过去把大地体当作圆球，后来经过大地测量和较精密的研究证明，地球是一个沿赤道稍膨大而两极略为扁平的椭球体。现在通过卫星大地测量，进一步发现大地体是北极稍许凸出（仅约20米），南极稍许凹进的椭球体。

任何一个静止的水面，都是一个水准面，所以水准面可以有无数个。因为大地水准面上处处和铅垂线相垂直。从物理学中知道：铅垂线的方向决定于地球内部质量的吸引力，而地球内部质量的分布又是不均匀的，因而引起铅垂线方向的变化，以致大地水准面成为一个十分复杂而不规则的曲面。在这个不规则的表面上是无法进行数学计算的，因此实际应用中，就以一个和大地体非常接近的数学形体——旋转椭球体——来代替，这个形体叫做参考椭球体，它就是大地和地形测量实际应用的地球形状。

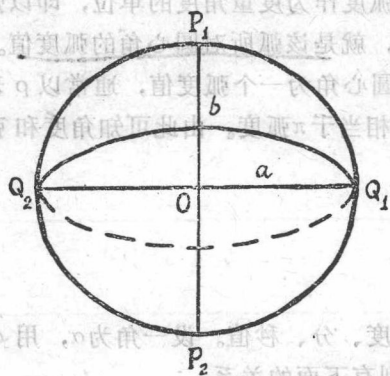


图1-1

参考椭球体的形状和大小，是由它的长半径 a 和短半径 b 所决定；也可以由一个半径和扁率 α ($\alpha = \frac{a-b}{a}$) 来决定，如图1-1。半径 a 、 b 及扁率 α 叫做参考椭球体的元素。

很早以来，测量和科研工作者，就对地球的形状和大小进行了测量和研究。六十年代以来，根据全球人造地球卫星观测的资料，国外又推算出新的地球参数，过去所测定的结果，只是逐渐接近和相对的数值。所以对地球元素的测定，是随着科学技术的发展而日趋精确的。表1-1列出历史上几次著名的测定结果。

我国的测量科学工作者，正奋发图强研究确定适合于我国情况的地球元素。由于历史所

这就是多边形abcde。这种不平等的曲线

表1-1

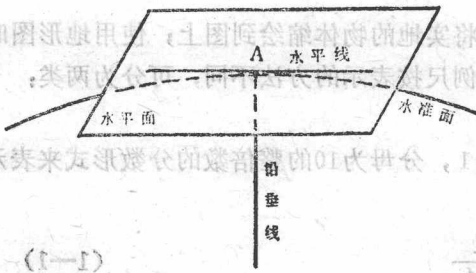
推算者	年代	a (米)	b (米)	α
德 兰 布 尔 (法)	1800	6375653	6356564	1:384
白 塞 尔 (德)	1841	6377397	6356079	1:299.2
克 拉 克 (英)	1880	6378249	6356515	1:293.5
海 福 特 (美)	1909	6378388	6356912	1:297
克拉索夫斯基 (苏)	1940	6378245	6356863	1:298.3

形成的原因，我国目前仍采用克拉索夫斯基的地球元素。

由于地球旋转椭圆体的扁率很小，极接近于圆球，因此，在实际测量工作中，如果测量面积不大时，可以把地球当作圆球。圆球的半径则采用与椭球体等体积的球体的半径，为6371.11公里。

如果我们过水准面上任一点A作一切平面，此平面叫做A点的水平面。在水平面上过A点的任意直线叫做A点的水平线，如图1-2。当水准面范围很小时，可以认为它和水平面重合。根据计算知道，在图1-2中若以A点为中心，约100平方公里的范围内，可以把水准面看成是平面。也就是说，在这个范围内进行测量时，可以不考虑地球弯曲对长度和水平角度的影响。

由上述情况可知，地球有自然表面、大地水准面（地球的物理表面）和旋转椭圆体面（地球的数学表面）。三者的关系如图1-3所示。大地水准面和旋转椭圆体面是不一致的，有的地方大地水准面高于椭圆体面，有的地方则低于椭圆体面。其差数一般不超过±150米。



(1-1)

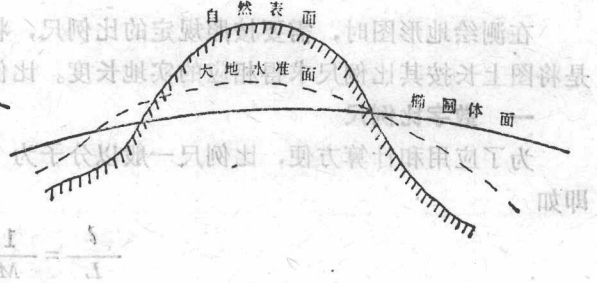


图1-3

图1-2

§1-3 平面图、地图、地形图

在地形测量中，要把地球表面上高低起伏的形状和固定物体测绘到图纸上，为此需要采用投影的方法。

如果在小区域内测图，可以把测区当做平面。如图1-4，假定在测区中心作一水平面MN，然后从地面各点向水平面作铅垂线，这些铅垂线与水平面的交点，称为各地面点的垂直投影。图中水平面上a、b、c、d、e各点，就是地面上A、B、C、D、E在水平面MN上的垂直投影。直线段AB、BC……的垂直投影就是ab、bc……，多边形ABCDE的垂直投

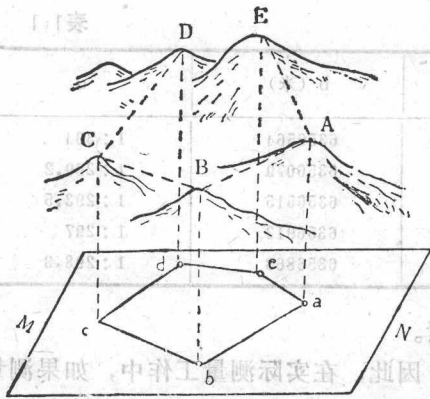


图1-4

影就是多边形abcde。这种不考虑地球弯曲的影响，利用垂直投影的原理，按一定的比例把地面上的物体、形态缩绘在平面上的图称为平面图。

如果测区的面积很大，就不能把水准面当作水平面，必须考虑到球面的弯曲；同时也不能采用简单的垂直投影的原理，而应根据数学法则，按一定的比例和投影方法，将球面上的物体、形态投影到平面上，这种图称为地图。地图上的图形都有一定的变形，这种因投影而发生的变形，我们可以用不同的投影加以控制，对变形的大小也可用不同方法加以限制，以满足用图要求。

如果图上只表示地面上房屋、道路、河流、植物等各种物体的位置，这种图称为地物图。若图上不仅表示出地物的位置，并且还表示出地面高低起伏的形态（地貌），这种图称为地形图。

§1-4 比例尺

将地球表面的形状和地面上的物体测绘在图纸上，不可能按其真实的大小来描绘，必须要缩小一定的倍数。地面上一直线段在图上的垂直投影长度 l 和该直线的水平长度 L 之比，这种关系 $(\frac{l}{L})$ 叫做地形图的比例尺。

在测绘地形图时，需要按照规定的比例尺，将实地的物体缩绘到图上；使用地形图时，是将图上长按其比例尺求得相应的实地长度。比例尺按表示的方法不同，可分为两类：

一 数字比例尺

为了应用和计算方便，比例尺一般以分子为1，分母为10的整倍数的分数形式来表示，即如

$$\frac{l}{L} = \frac{1}{M} \quad (1-1)$$

$1/M$ 就称为数字比例尺。比例尺分母 M 就是实地水平长度缩小的倍数。地形图常用的比例尺有 $1/500$ 、 $1/1000$ 、 $1/2000$ 、 $1/5000$ 、 $1/10000$ 、 $1/25000$ 等等。比例尺也可写成 $1:500$ 、 $1:1000$ 等形式。由比例尺可知，分母愈大则比例尺愈小，分母愈小则比例尺愈大。

知道了比例尺，就可以进行图上长度和相应的地面水平长度的相互换算。

例如：在测绘 $1:2000$ 地形图时，测得地面两点间的水平长度为 96.4 米，求其图上长是多少。

由 (1-1) 式可得 $l = \frac{L}{M}$ ，已知 $M = 2000$ ， $L = 96.4\text{m}$ ，所以图上长 $l = 96.4/2000 = 4.82$ 厘米。

又例如：在比例尺为 $1:25000$ 的地形图上，量得两点间的长度为 5 厘米，求其相应的地

面水平长度是多少？

由(1-1)式可知 $L = M \cdot l$ ，已知 $M = 25000$ ， $l = 0.05\text{m}$ ，所以地面的水平长度 $L = 25000 \times 0.05\text{m} = 1250\text{米}$ 。

二 图示比例尺

在测绘地形图时，将实地长度化算为图上长度的工作量是很大的；在用图时，图上长度与相应实地长的互相换算也是很多的。如果用数字比例尺进行化算就很不方便，一般采用图示比例尺就避免了大量的计算工作。图示比例尺又分为直线比例尺和斜线比例尺两种。

1. 直线比例尺

直线比例尺是按照规定的数字比例尺绘制成的。其绘制方法是：

在图纸上绘一直线，在直线上截取一些相等的线段，这些等长线段叫做比例尺的基本单位，采用的基本单位化算为实地长度时，一般应该是一个便于计算的整数，例如为一厘米或两厘米。再将最左端的一个基本单位又等分为10小段。然后按数字比例尺计算出一基本单位和十分之一基本单位相应的实地长度，注记在相应的分点上。

现以比例尺1:5000为例，说明注记的方法：

如图1-5a，因每一基本单位为2厘米，代表实地长度为100米，十分之一基本单位代表实地长度为10米，以最左端的基本单位的右端点注记为0，向右各基本单位依次注记为100、200米、300米、400米，由0向左分别注记50米、100米。

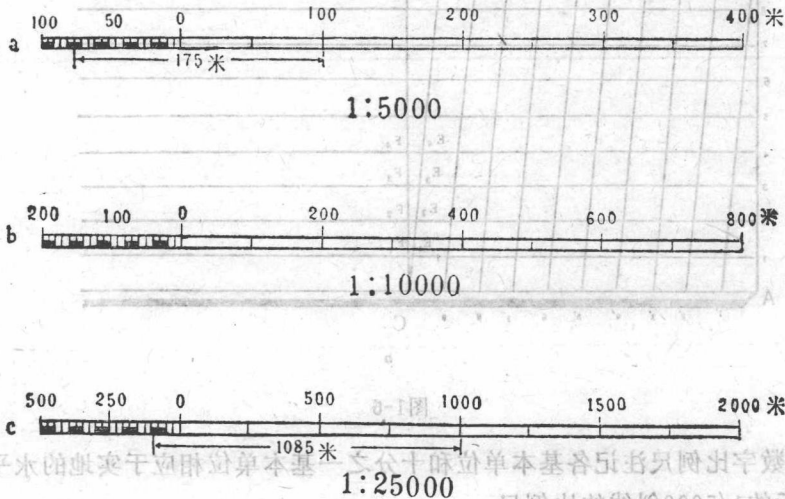


图1-5

直线比例尺的应用举例：

例一、在1:5000直线比例尺上量取与实地175米相应的图上长度。

一 如图1-5a，用两脚规的左脚尖放在0点左边相当于75米的分划上，张开右脚放在0点右边为100的分划上，这时两脚尖之间的距离，就是所求的图上长度。

例二、在1:25000的地形图上，用两脚规量得一段长度为 l ，求其相应于实地的水平长度。

如图1-5c，用两脚规的右脚尖放在0点右边适当的分划上（如1000），使左脚尖落在0点左边的基本单位内（如左脚尖不落在该基本单位内，就使右脚尖重新对准另一分划），这

时在直线比例尺上可读得相应的实地水平长度为1085米。

2. 斜线比例尺

从直线比例尺的应用中可知，基本单位的十分之一可以从比例尺上量取，而百分之一基本单位只能目估，为了能准确地直接量取基本单位的百分之一，可采用斜线比例尺。斜线比例尺的绘制方法是：

如图1-6a，在AB直线上按基本单位长度截取各分点。过各分点作AB线的垂线，垂线的长度一般为基本单位的长度。将垂线作十等分，并过各等分点作AB的平行线。将最左端的一个基本单位的PF和AC也各作十等分，如图1-6b，得分点1、2……9和1'、2'……9'，连接P-1'、1-2'……8-9'、E-C。

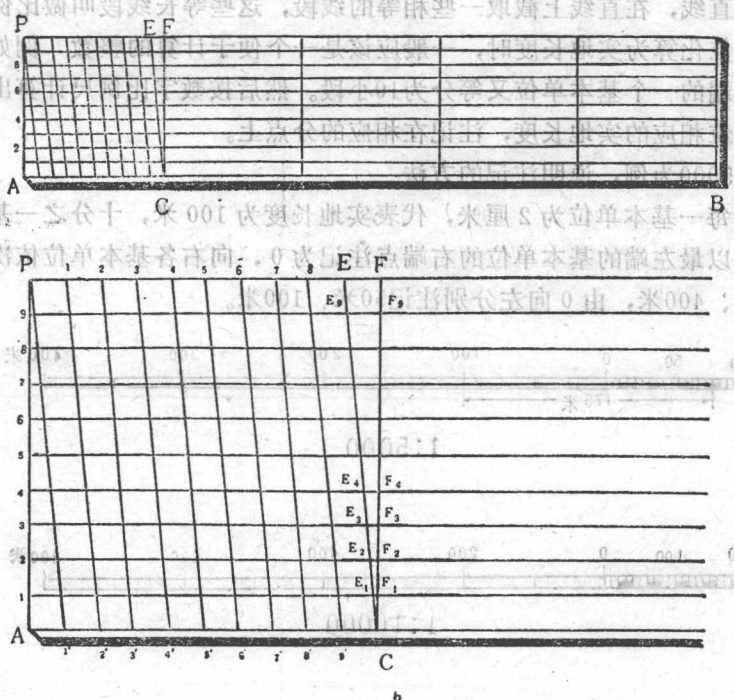


图1-6

按规定的数字比例尺注记各基本单位和十分之一基本单位相应于实地的水平长度，如图1-7就是制成后的1/5000斜线的比例尺。

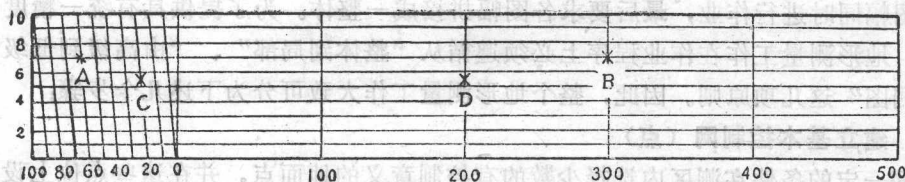
由图1-6b中可知，EF是PF（基本单位）的十分之一，根据相似三角形的原理可以证明：

$$E_1F_1 = \frac{1}{100} PF, E_2F_2 = \frac{2}{100} PF, E_3F_3 = \frac{3}{100} PF \dots \dots E_9F_9 = \frac{9}{100} PF$$

由此可知，E₁F₁、E₂F₂、E₃F₃……E₉F₉、EF这些线段中任意两相邻线段之间都是相差百分之一基本单位，因而在斜线比例尺上就能准确地直接量取基本单位的百分之一。

斜线比例尺应用举例：

例一、在1:5000斜线比例尺上量取相应实地为367米的图上长度。如图1-7所示，把两脚规左脚尖放在0点左边注有60的斜线和第7条平行线的交点A处，



1:5000

图1-7

而把右脚尖放在0点右边注有300的垂直线和第七条平行线的交点B处，则AB之间的距离就是图上长度。

例2、在1:5000地形图上，用两脚规量得图上长度为CD，求其相应的实地水平长度。

把两脚规的右脚尖放在0点右边适当的分划上，如图1-7中注记为200的垂线上，左脚尖落在0点左边的基本单位内，保持两脚尖连线平行于平行线，使右脚尖沿垂线（200分划）上下移动，当左脚尖正好落在某一条线上时，如图1-7中的C点，因C点在第五和第六条平行线之间，这时左脚尖在斜线比例尺上的读数为25.5米，故CD相应的实地水平长度为225.5米。

三 比例尺的精度

人的正常的眼睛，可以分辨出图上距离大于0.1毫米的两点，所以按比例尺将实地长度缩小描绘到图上时，不能小于图上0.1毫米。因此图上0.1毫米按不同比例尺求得的相应的实地长度，叫做比例尺的精度。根据比例尺的精度，可以解决测量中的一些问题。

如根据比例尺的精度，可以知道在测绘地形图时，测量距离应准确到什么程度，多大尺寸的地物，可以按比例尺表示在图上。

由上述可知比例尺的精度 $\delta = 0.1\text{mm} \times M$ ，由此可算得不同比例尺的精度。

$$1:2000 \quad \delta = 0.2\text{米}$$

$$1:5000 \quad \delta = 0.5\text{米}$$

$$1:10000 \quad \delta = 1.0\text{米}$$

以上结果表明：当测绘比例尺1:2000、1:5000、1:10000地形图时，实地测量的长度应分别准确到0.2、0.5、1米以内。上述结果同样表明：当实地物体分别小于0.2、0.5和1米时，在相应比例尺的图上是表示不出来的，测图时可以舍去或用规定符号表示。因此，比例尺的精度，也是不同比例尺测图时决定取舍的标准之一。

又如按比例尺的精度，可以适当选择测图比例尺。要求在图上能表示出0.5米的长度。则由上式可得 $M = 0.5\text{m}/0.1\text{mm} = 5000$ ，就是说测图比例尺应不小于1/5000。

§1-5 地形测量工作的概念

地形测量工作就是根据一定的目的和要求，测绘出某一地区的具有相应精度的能真实显示地物及地表形态的地形图，为有关部门提供可靠资料。进行测量工作，无论采用什么仪器和方法施测，测量结果总是会有误差的，但是我们应采取措施防止误差的累积，提高成果、成图的质量。而对于地形测图来说，通常是将整个测区（测量作业的区域）划分为同样大小