

第一章 地图的基本知识

第一节 环境地图的意义和作用

一、环境地图的意义

人类生存的环境是一个庞大的环境系统，包括自然环境、生活环境和社会文化环境。对于这样庞大的环境系统，人们用什么方法去观察、研究地球表面各环境要素的分布规律和制约关系呢？天文学家借助望远镜观察星体；生物学家借助显微镜将研究对象放大观察；环境科学工作者则需要把地球表面的环境缩小千百万倍，用一定符号将各环境要素表示在地图上进行观察、研究。

具有一定文化知识的人对于地图并不陌生，如日常生活学习中读书、看报、旅游……都需要查阅地图。因此也许有人认为读图用图并不难，只要能找到所需要的地名就能解决问题了。环境地图是一种专题地图，它包括了很丰富的科学内容，只有具备一定的地图基础知识，和环境科学的基础知识，才能正确地使用环境地图。

环境科学是一门综合性和区域性很强的科学。了解环境现状、进行环境质量评价、环境影响评价、制订综合防治措施，是环境科学研究的主要方面。在环境研究工作中，需要了解环境诸要素的空间分布规律和动态变化，综合地掌握区域环境特征。环境科学的内容，决定了它和地图的密切关系。环境地图是获取环境知识的源泉，是表达环境研究成果的重要工具。

由于环境地图不仅具有直观、形象的特点，同时有利于反映环境诸要素的空间分布规律和制约关系，因此利用地图来反映环境科学的研究成果，近年来在国内外已引起环境科学工作者的重视。

二、环境地图的作用

（一）表示环境科学研究成果的重要工具

环境内容的复杂性，往往是语言和文字很难确切表达的，但是利用地图则能比较容易而确切地表达。一幅好的环境地图，能明确、真实、直观地表示地图内容的空间分布，起到任何文字都难以表达的效果。用地图的方式，表示环境诸要素的空间分布是非常有利的，借助于地图的各种表示方法，可以表示环境诸要素的特征、量的差异、时间和数量的动态变化。一个区域的环境研究成果，如果不利用地图表示，是很难全面、确切地表达的，特别是空间分布规律和各要素的制约关系，有时甚至是无法表达的。因此环境地图是表达环境科学研究成果的重要工具。

（二）分析环境各要素分布规律的有利手段

环境是一个整体，环境各要素之间有明显的制约关系，其中某一要素的变化，都将影响区域环境的变化，有时会导致环境生态系统的变化。例如水质污染会影响水生生物的变化，影响人体的健康；土壤污染则直接影响农业生态系统的变化；地形、风向的变化，会影响污染物的传播途径、方向和强度的改变。环境地图是研究了解区域特征的重要工具，借助地图在很短的时间内，可以了解区域环境的全貌。环境地图可以把环境科学研究的成果表示在地图上。在进行环境制图时，可以是单要素的、也可以是较多要素的综合地图，实际上制图过程就是对环境各要素制约关系的分析过程。

这种综合分析的方法。紧密结合环境各要素的空间分布和动态变化。借助于对比分析和相关分析，可以达到去粗取精、去伪存真、由表及里的综合评价，这就有利于了解一个区域变化的科学规律，避免片面性。在全面分析的基础上，对于制订综合防治措施是非常有利的。

（三）利于对环境研究成果的提高

在实际工作中，往往会遇到这样的问题，对一个区域环境调查结果，可以写出长篇的调查报告，但是并不能编制出一幅完整的地图。因为写一篇区域调查报告，并不一定需要一个区域的全部调查资料，而地图则一定要求制图区域资料的完整性，制图区域内是不允许有空白的，这是编图的原则。如果在对一个区域的环境调查工作中，某些地区没有进行调查，制图时就会出现空白区，因此不完整的制图资料，是经不起制图工作检验的。此外环境污染的结果应该表现为制图区域的一定范围，例如大气污染、土壤污染等都应该是连片的，但是当用调查数据表达时，只能是各个调查点的污染状况，而不能反映污染现象的面状分布，然而用制图方法可以用等值线把它们连成片。在用等值线法表示污染现象时，要求污染点的调查要有一定的密度，当数据调查的密度不够时，是不能制图的。类似这样的问题写调查报告时可以列举某些点的污染数据，用以说明调查区的污染状况。但是不完整的调查数据，是不能满足制图要求的，所以通过地图能暴露出调查工作的死角。另外在环境制图工作中，能比较容易地发现环境调查结果的矛盾现象，例如在一个地区土壤中金属污染的途经是来自水源，如果无其它因素的影响，则沿河水灌溉的水稻土，肯定会比不受污染水灌溉的其它土壤污染严重。如果出现违反正常规律的现象，通过制图工作是很容易发现的。因此通过制图对环境污染调查成果起到检验的作用，当然也就促进环境研究工作质量的提高。

第二节 环境地图的基本特性及构成要素

一、环境地图的基本特性

可以认为环境地图是地球表面环境要素缩小描绘在平面上的图形。但是严格地说这种认识是不全面、不确切的，因为地面的风景照片和风景画也适合上述的含义，但并不能说它们是环境地图。我们对环境地图进行认真分析，发现环境地图具有三个基本特性，即构成地图的数学法则、表达空间环境诸要素的地图符号和环境地图内容的制图综合。

(一) 构成环境地图的数学法则

地球表面是三维空间的球面，是不可展为平面的曲面，也就是说球面是不能无裂隙、无重叠、无变形地表现在平面上，而环境地图是二维空间的平面图形，这就产生了球面和平面的矛盾。解决这个矛盾的办法，是采用一定的数学法则，将球面展开成平面，这就是地图投影的方法。在构成环境地图时，首先用地图投影的方法，把球面上的经纬线网投影到平面上，然后再填绘相应的环境内容。按这种方法建立的数学基础，才能使地球表面上的点和环境地图上的点保持一定的函数关系，在环境地图上正确地表达各环境要素的空间分布规律。

地面的风景照片和风景画，是按透视原理构成的，随着视点位置的不同，事物的形状和大小都要发生变化，一般来说距视点的距离愈远，图形愈小，愈近图形愈大。而在环境地图上表示各环境要素时，图形的大小和视点无关，它要求地面各要素要按一定的比例缩小。所以地图投影和比例尺，是环境地图的数学基础，它保证了环境地图的精度和可量测性。

(二) 运用环境地图的符号和注记

地面事物是非常复杂的，环境的内容是多样的，在《中华人民共和国环境保护法（试行）》中明确指出：“本法所称环境是指：大气、水、土地、矿藏、森林、草原、野生动物、野生植物、水生生物、名胜古迹、风景游览区、温泉、疗养区、自然保护区、生活居住区等。”在平面的环境地图上，不可能将这么广泛的内容，全部按实际图形表示。地图工作者把这些千变万化的环境要素，按一定的符号系统表示在环境地图上。环境地图内容为什么用符号表示呢？

1. 用图形符号，可以表示地面的起伏状况，也就是说可以在二维的平面图纸上，表示三维事物的空间分布，如山脉的高度、坡度等。

2. 用符号可以表示出地面上无外形的各种环境要素，如大气的污染、降尘等。

3. 运用符号可以有选择地表示环境要素，使环境地图重点突出，一目了然，对于比较重要的较小地物，可以用不依比例的符号夸大表示。

4. 运用符号可以表示环境要素的本质特征，例如对河流、湖泊等，不仅可以表示其外形和空间分布，同时还可以表示水质的特征，如是否受污染等。

5. 在环境地图上配合符号系统，还采用一系列具有说明作用的文字和数字，称为注记。用以说明环境要素的名称，如地名、河名、污染现象的数量指标等，这就大大丰富了环境地图的内容，提高了环境地图的使用价值。

(三) 环境地图的制图综合

环境地图的内容是将地球表面各环境要素，缩小千百万倍后表示在平面上的图形，因此环境地图不可能把地面的全部环境要素都表示出来，而是要经过精减。因此环境地图上所表示的环境要素，从数量上来说少了，从图形上来说简化了。从图 1—(a) 和图 1—(b) 的对比可以看出由 1：100 万比例尺地图缩小到 1：1000 万比例尺地图以后内容大大简化了，也只有这样才能保证地图的易读性。

制图综合是编绘地图时处理环境内容的原则和方法，目的是为了保证在有限面积的地图图面，既能表示制图区域环境的基本特征，又能保证图面内容的清晰易读。

根据上面对环境地图基本特征的分析，可以认为环境地图是将地表环境诸要素按照一定的数学法则，运用符号系统并经过制图综合缩绘于平面上的图形，以表达环境要素的空间分布和动态变化。

应当指出，属于地图表现形式的还有月球图、行星图、星空图等。它们也是按照数学法则，并利用符号和经过制图综合方法构成的。随着人类进入宇宙空间，关于地图的概念和功用已有了一些新的发展。

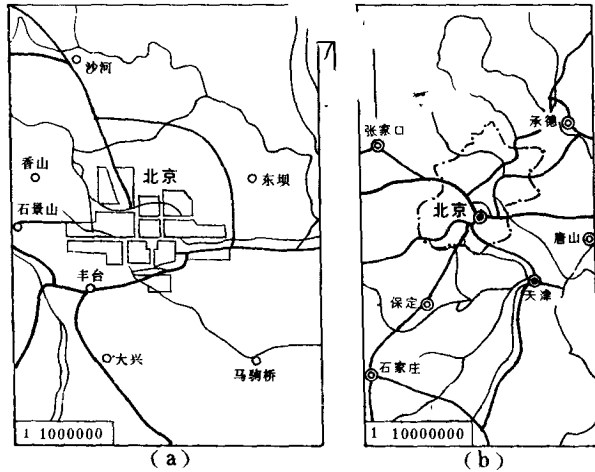


图 1-1 不同比例尺地图内容的综合

二、环境地图的构成要素

构成环境地图的主要要素有以下三个部分：内容要素、数学要素和辅助要素。

(一) 内容要素

是用符号和图形来表示制图区域的环境诸要素的空间分布和制约关系，以及表示各环境要素的质量特征、数量特征和动态变化的，这是地图的主体部分。

(二) 数学要素

是决定环境地图内容定位和精度的基础。其中包括地图投影、比例尺、大地控制点等。地图投影是研究用数学方法将地球表面上的经纬线网，转绘到平面上的方法，它是地图的基础；比例尺是说明环境地图内容缩小的程度；大地控制点是测绘地图的基础。此外地图的数学要素还有地图的分幅编号、图廓等。

(三) 辅助要素

是指对于读图、用图起说明作用的要素。它对使用地图有重要的作用，如图例是用来说明地图内容中各种符号的意义，以及质量和数量特征等。辅助要素中还有图名、地图编制出版单位、编图时间、成图方法、编图资料以及地图出版的时间等。这些内容对使用地图都是很重要的，如编图时间是用来说明地图内容现势性的，它和地图出版时间是两个概念。假如地图上注明是 1985 年出版，但编图时间是 1981 年，则地图内容只是表示 1981 年的状况。

第三节 测绘地图概述

一、地球体

地球自然表面是一个起伏不平、十分不规则的曲面，有高山、深谷、丘陵和平原，又有江、河、湖、海。地球表面约有 71% 的面积是海洋，29% 的面积是大陆和岛屿。陆地上最高点珠穆朗玛峰海拔高程为 8848.13 米，海洋中最深处在马里亚纳海沟为 -11034 米 两者相差

近 20 公里。这个高低不平的曲面无法用数学公式表达。所以在测量与制图时，必须找一个规则的曲面来代替地球自然表面。

当海洋静止时，它的自由海水面叫做水准面。水准面有无数个，其中有一个与静止的平均海水面相重合，假设这个面穿过大陆和岛屿形成一个闭合的曲面，这就是大地水准面，大地水准面所包围的地球形体，叫大地球体。

由于受地球内部物质密度不同的影响，大地水准面形状仍不能用数学公式表达。它是一个很接近于绕自转轴（短轴）旋转的椭球体。所以在测量和制图中就用旋转椭球体来代替大地球体，这个旋转椭球体通常叫做地球椭球体。

地球椭球体表面是一个规则的数学表面。椭球体的大小，通常用两个半径：长半径 a 和短半径 b ，或用一个半径和扁率 α 来决定。上述的 a 、 b 、 α 称为地球椭球体的基本元素。扁率表示椭球的扁平程度，扁率 α 的公式：

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

上述基本元素，由于推求的年代、所用的方法和测定地区的不同，其成果值并不一致。现将几个常用的地球椭球体元素值列表如下：

表 1-1 椭 球 体 元 素 值 表

| 椭球体名称 | 国 家 | 推 算 年 代 | 长半径 a (米) | 短半径 b (米) | 扁 率 α |
|------------|----------------|---------|-----------|-----------|--------------|
| 海 福 特 | 美 国 | 1909 | 6378388 | 6356912 | 1 : 297.0 |
| 克拉索夫斯基 | 苏 联 | 1940 | 6378245 | 6356863 | 1 : 298.3 |
| GRS (1975) | 国际大地测量与地球物理联合会 | 1975 | 6378140 | 6356752 | 1 : 298.257 |

由于地球椭球体长、短半径的差值很小，所以当制作小比例尺地图时，往往把它当作球体看待，这个球体的半径为 6371000 米。

我国在解放前采用海福特椭球体，从 1953 年起采克拉索夫斯基椭球体。

二、地理坐标和平面坐标

在科学研究工作中，特别是测量与制图工作中，确定所研究要素空间点的位置是很重要的。确定点平面位置的方法，基本的有两种：地理坐标和平面坐标。标志地面点高程位置的方法是绝对高程和相对高程。

(一) 地理坐标

地理坐标是地球表面上确定点位置的统一坐标系统。在日常生活中天气预报所报导的台风中心在东经 120°、北纬 20°；导弹发射落地点在西经 120°、南纬 30°……等，这里所提出的点位即地理坐标。

地理坐标系是以地理极（北极、南极）为极点。地理极是地轴（地球椭球体的旋转轴）与地球表面的交点。如图 1—2 N 为北极，S 为南极，过地轴与地球表面相交的平面，称为子午面。子午面与地球表面的交线，称为子午线或经线。所有垂直于地轴的平面与地球表面的交

线，称为纬线。纬线是不同半径的圆，其中半径最大的纬线，即通过地轴中心垂直于地轴的平面所截的大圆，称为赤道。

国际规定通过英国格林尼治天文台的子午线，称为本初子午线，作为计算经度的起点。过地面上任一点 A 的子午面与本初子午面所夹的两面角称为 A 点的经度，用 λ 表示。其数值从 0° 到 180° ，本初子午线以东的称为东经，以西的称为西经。图 1-2 中过 A 点的铅垂线和赤道平面的夹角，称为 A 点的纬度，用 φ 表示。其数值从 0° 到 90° ，在赤道以北的称为北纬，赤道以南的称为南纬。

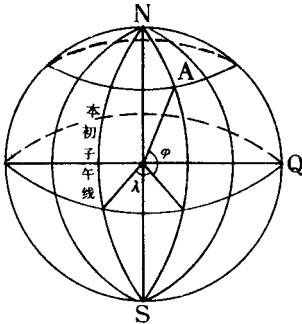


图 1-2 地理坐标

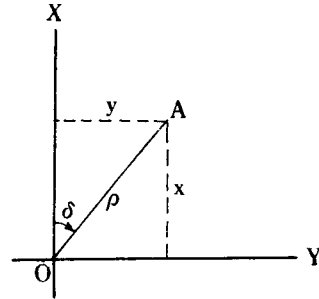


图 1-3 极坐标和直角坐标

根据地理坐标系，可以确定地面上任意点的位置。例如北京的地理坐标是 $N39^\circ56'$ 和 $E116^\circ24'$ 。

(二) 平面坐标

地理坐标是一种球面坐标。平面上任一点的位置还可以用极坐标或直角坐标表示，如图 1-3，设 O 为极坐标原点，即极点，OX 为极轴，A 点的位置可用其动径 ρ 和动径角 δ 来表示，即 $A(\rho, \delta)$ 。如果以极轴为 X 轴，过原点垂直于极轴的轴为 Y 轴，则 A 点的位置亦可用直角坐标表示，即 $A(x, y)$ 。从图 1-3 可以明显地看出，极坐标与直角坐标的关系为：

$$x = \rho \cos \delta$$

$$y = \rho \sin \delta$$

这里需要指出的是：在测量与制图中所规定的 X 轴和 Y 轴的方向和数学中所规定的相反。动径角 (δ) 是极轴 (OX) 与动径 (OA) 所夹的角，它是按顺时针方向计算的。这也与数学中所规定的不同。

(三) 高程

表示地面点高程的方法有两种：一是绝对高程，它表示地面点至大地水准面的垂直距离，亦称海拔。如图 1-4 P_0P_0 为大地水准面，地面点 A 和 B 到 P_0P_0 的垂直距离 H_A 和 H_B 为 A、B 两地面点的绝对高程。

我国规定 1956 年黄海平均海水面作为大地

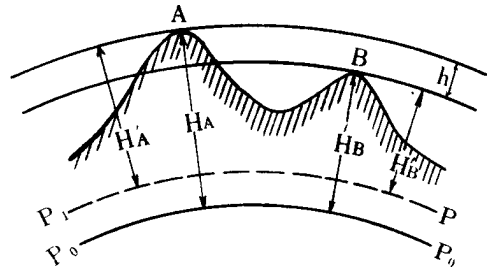


图 1-4 绝对高程和相对高程

水准面，即高程的起算面，依此推算的水准点高程，称为 1956 年黄海高程系。

地面点至任一水准面的高度，称为假定高程或相对高程。如图 1—4 A、B 两地面点，至任一水准面 P_1P_1 的垂直距离 H_A 和 H_B ，为 A、B 两点的相对高程。

A、B 两点的高程差，称为高差 (h)。高差有正、负之分。A 点高于 B 点，A 点对 B 点的高差为正，B 点对 A 点的高差为负。

三、大地控制网

地球面积广大，在进行测量制图工作时，需要把地面分成很多单元分别进行；而且在全国范围进行测量制图时，精度要有统一的要求。根据以上要求，在测量制图时需要首先在全国范围内建立统一的大地控制网，作为测绘地图的基础。大地控制网分为平面控制网和高程控制网。

平面大地控制网，通常是采用三角测量的方法布设。这种方法的实质是在地面上布设一系列相互连接的三角形，组成三角锁和三角网如图 1—5。采用天文测量的方法，确定起始边两端点的经纬度。并用精密测量方法测量起始边的边长，然后用精密的测角仪器，测量各三角形的角值，根据所测得的角值和起始边的边长和点位，推算出其它三角形各顶点的坐标值。这样推算出来的坐标，称为大地坐标。我国 1954 年在北京设立了大地坐标原点，由此计算的各大地控制点的坐标，称为 1954 年北京坐标系。

为了满足测绘地图和其他科研的需要，有计划地在全国范围内布设了三角锁和三角网，作为测图基础。根据精度的不同，三角测量分为四个等级。

一等三角锁是全国平面控制的骨干，它是由相互连接的三角形组成锁状。一等三角锁每个三角形的边长为 20—25 公里左右，基本上沿经纬线方向布设。纵横锁交叉构成一等三角锁，锁与锁间的距离约为 200 公里。二等三角网是在一等三角锁的基础上扩展的，三角形的平均边长为 13 公里，三角点的这种密度可以保证在测绘 1:10 万、1:5 万比例尺地形图时，每 150 平方公里内有一个大地控制点。即每幅地形图的范围不少于 3 个控制点。三等三角网是在一、二等三角网基础上，加密控制网，从测量的精度要求说，比前者要低，从数量来说比前者要多。三角形的边长约为 8 公里，可以保证在测量 1:2.5 万地形图时，每幅图内有

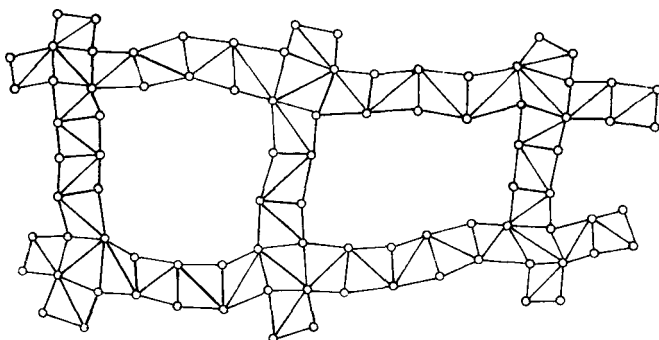


图 1—5 三角锁

2—3 个控制点。四等三角网 三角形边长约 4 公里，可以保证在测量 1：1 万比例尺地形图时，每幅图内有 1—2 个控制点，每点大约控制 20 平方公里的范围。

全国范围的高程控制称国家水准网，国家水准网的测量是采用水准测量的方法（图 1—6）。水准测量是利用水平视线来测定地面点的高差，在广大范围内连续进行水准测量，组成全国范围内的高程控制网。根据精度不同，高程控制网也分为四个等级。

四、测绘地图的方法

地图种类很多，成图的方法也各不相同。归纳起来，可分为实测成图法和编绘成图法。

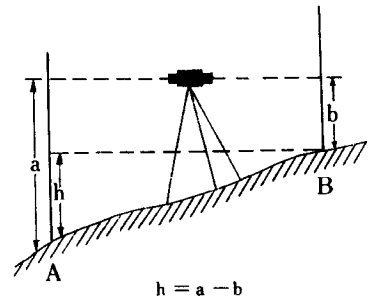


图 1—6 水准测量示意图

（一）实测成图法

实测成图法是指通过实际测量而绘成地图的方法。由于采用的具体方法不同，又分为地面测量成图法和航测成图法。

地面测量成图法，是采用各种测量仪器，在地面上通过实际测量绘制成图的。它的实质是采用各种测量方法，测量地面各地物点间的距离、方向（角度）和高差，来确定各地面点的平面位置和高程位置，最后绘成地图。

航测成图法，是利用安置在飞机上的航空摄影机对地面进行摄影，根据所取得的航空象片，利用仪器确定其地面点的平面位置和高程位置，最后绘制成图。航测成图法不仅可以大大减少野外测量工作，改善绘图条件，同时可以提高成图的精度和速度，因而这种方法是目前测绘地形图的主要方法。

（二）编绘成图法

中、小比例尺的地形图，通常不是到野外直接测量，而是利用实测的地形图作为基本资料，再参考其它资料，如遥感资料、文字资料（包括各种有关的科学研究报告等）、数字资料等，经过制图综合、编辑加工而成。这种新编地图的比例尺，一般比原图的比例尺要小，内容要简略。

各种不同比例尺的专题地图，如各种环境地图、水文地图、工业地图、农业地图等。都是以较大比例尺或相同比例尺的普通地图为基础底图，将各种不同的科研成果或各种统计资料等，经过编辑加工填绘在基础底图上而成，所以专题地图的内容包括两部分：一为地理基础底图（主要用来表示各专题内容的位置，以及各要素的制约关系等）一为专题要素内容。

七十年代以来，由于遥感技术的蓬勃发展，遥感资料已广泛应用于制图。遥感资料的突出特点是资料新、内容更新快，因而近年来遥感资料已广泛应用于编绘各种专题地图，以及地形图的更新。

无论采用何种方法成图，其主要程序为：测绘或编绘成原图 原图清绘 制印刷版 印刷成图。

第四节 地图投影和比例尺

一、地图投影

(一) 地图投影的意义

地球表面是一个球面，而地图是一个平面，当把球面展成平面时，必然发生破裂或褶皱，这样就不能表示各种地面事物的形状、大小和相互关系，这是制作地图时所不允许的，因此在编制地图时必需解决球面和平面之间的矛盾，地图投影就是解决球面和平面矛盾的方法。

地图投影的实质，是将球面上的经纬线网按照一定的数学法则转移到平面上。这是因为球面上事物的位置，是根据地理坐标确定的，要想把球面上的事物转移到平面上，必须首先转绘经纬线网，然后按照地理坐标转绘地理内容，就可以构成地图了。如图 1-7 (a) 是地面上的经纬线网，图 1-7 (b) 是投影平面上的经纬线网。地面上的点 A、B、C，可按其经纬度在投影平面上确定，它们为 A'、B'、C'。

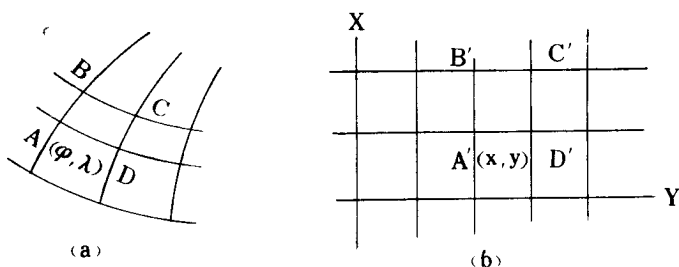


图 1-7 按经纬度将球面上的点转绘到平面上

(二) 地图投影的变形

用地图投影的方法把球面上的经纬线网投影到平面上，不可能和球面上完全一样，也就是说地图上的经纬线网格必然产生变形。因此根据地理坐标转绘在地图上的各种地面事物，也必然随之产生变形。这种变形使地面事物的几何特性——长度、面积和角度都产生了变化。

由于投影方法的不同，所得出的经纬线网形状也不相同（图 1-8）。无论用什么投影方法，所得出经纬网形状，总是和球面上经纬网形状不完全相同。如果把它们和地球仪进行比较，就会发现经过投影后的经纬网的图形是有变化的，在地图投影中这种变形称为地图投影变形。变形表现在三方面：长度、面积和角度。

长度变形是在地图上长度的比例随不同的地点和不同的方向而改变，所以在地图上量算和比较不同地点和不同方向的各个事物间的距离就比较困难了。

在地球上经纬网长度的分布具有下列特点：第一，纬线长短不等，纬度愈高纬线愈短，极点的纬线长度为零；第二，在同一纬度上经差相同的纬线长度相等；第三，纬差相同的经线长度虽不完全相等，但相差很小（见附录 I）。

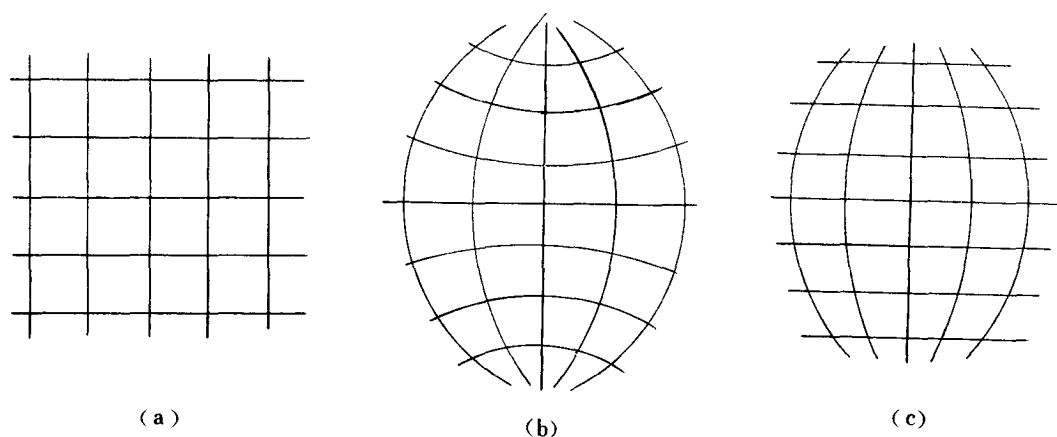


图 1-8 几种不同投影的经纬线网形状

在图 1-8(a) 上的各条纬线长度都相等，这说明各条纬线不是按照相同的比例尺缩小的；在图 1-8 (b) 上，同一条纬线上经差相等的纬线长度不等，从中央向两边逐渐增大，这说明在同一条纬线上由于经度的变化，比例尺也发生了变化；从图 1-8 (b) 和图 1-8 (c) 上都可以看出，经线长度并不相等，中央的一条经线最短，从中央向两边经线逐渐增大，这说明各条经线不是按着相同的比例尺缩小的。

面积变形是指地图上的面积比例随地点而改变。因此不能在地图上随便量算和比较各事物所占的面积。

在地球上同一纬度带内经差相等的梯形网格的面积相等；同一经度带内，纬度愈高梯形面积愈小（见附录 II）。

如图 1-8 (a) 在同一经度带内，纬差相同的网格面积相等，这表明面积不是按照同一比例缩小的；在图 1-8 (c) 中，同一纬度带内，网格面积不等，这说明面积比例随经度的变化而变化。

角度变形是指在地图上的角度，不等于球面上相应的角度。例如在图 1-8 (b) 上，只有中央经线和各纬线相交成直角，其余的经线和各纬线相交都不成直角，而在地球仪上的经线和纬线相交都是直角，这说明投影后产生了角度变形。

（三）地图投影的分类

地图由于其用途和所表示的地区范围和区域位置的不同，它们所采用的地图投影方法也不相同。我们所见到的各种地图经纬线形状的不同，是由于所采用的投影方法不同。地图投影的种类很多，一般可按地图投影的变形性质和构成方法进行分类。

1. 按变形性质分类

根据使用地图的目的和要求，可以运用地图投影的理论，使所设计的投影在某一方面没有变形，或在某些方面减少变形。按照变形性质，地图投影可分为以下三类：等积投影、等角投影和任意投影。

(1) 等积投影

等积投影的条件是要求地图上面积和地球上相应的面积保持相等，在进行投影时要满足这个条件。根据几何学原理，把一个梯形绘成为面积与之相等的正方形、长方形或平行四边形是很容易的（图 1-9）。

地图投影可根据这个原理，使投影后的面积与实地的面积相等。

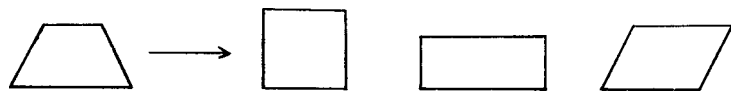


图 1-9 把梯形绘成等面积的其他图形

用这种地图投影的方法所编绘的地图，因为没有面积变形，所以有利于在地图上进行面积对比和面积量测。一般的环境地图和经济地图多采用这种投影。这种投影图的缺点是形状变形比较大。

(2) 等角投影

等角投影的条件是要求投影后的角度与实地保持正确。例如地球表面上的一个小圆，投影以后仍保持为圆形，即经过投影后角度保持正确如图 1-10。

$$\angle aob = \angle AOB$$

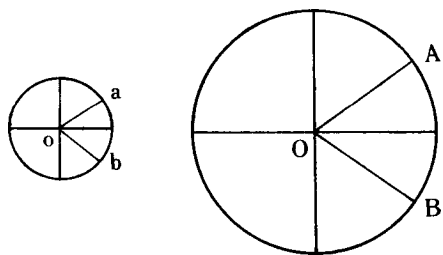


图 1-10 等角投影

用等角投影编制的地图有航海图、洋流图 and 风向图等等。这种投影图的缺点是面积变形较大。

(3) 任意投影

在这种投影图上，长度、面积和角度都有变形，它既不等角也不等积。这种投影图虽然各方面都有变形，但是它的面积变形小于等角投影，角度变形小于等积投影。

在任意投影中，有一种特殊的投影，叫做等距投影。所谓等距投影，并不是不存在长度变形，而只是在某些特定方向上长度没有变形。例如沿所有的经线或地图中心到任何点的长度没有变形。如果要求图上绝对没有长度变形，那就是要求地图上各个不同地点，不同方向上的线段长度比完全与实地相同，这显然是不可能的，只有地球仪上能满足这个条件。

2. 按构成方法分类

地球表面不可能没有破裂和褶皱地直接展开在平面上。但是可以把它投影到可以展开为平面的几何面上，如圆柱或圆锥等，然后借助于这些几何面再展开成平面。方法是使这种几何面与地球仪相切或相割，首先把地球仪上的经纬网，投影到几何面上，然后将几何面展开成平面，这样就得到绘制地图用的经纬线网了。

根据所借助的几何面和投影的构成方法，地图投影可分为下述几类；

(1) 方位投影

以平面作为投影面，把平面与地球仪相切或相割，将地球仪上的经纬线投影到平面上而

成。在方位投影的中心，也就是平面与地球相切的点无变形，该投影从投影中心到任何点的方位角与实地保持一致，因此称为方位投影。

由于地球仪和投影面相切位置的不同，分为正轴（极）、横轴（赤道）、斜轴（地平）投影（图 1—11）。

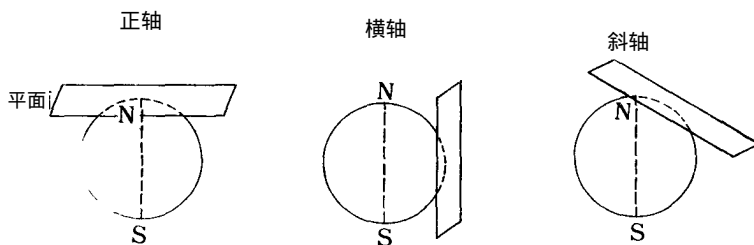


图 1—11 正、横、斜方位投影示意图

正轴方位投影的经纬线形状如图 1—12，经线为从一点向外放射的直线束，纬线为以经线交点为圆心的同心圆。其等变形线是同心圆，从切点或割线向外变形增大。

为了说明地图投影的构成原理和投影变形，可做如下的试验。用铅丝做一个沿赤道切开的半球经纬线网模型，使模型的极点与平面相切，如果在半球模型的中心放一个灯光，经灯光照射后，模型上的经纬线网即投影到平面上。如果灯光的位置沿水平方向移动，则投影后经线仍为放射状直线，纬线仍为同心圆，但纬线间隔发生变化，当灯光在模型中心（即球心）时，纬线间隔最大，此时地球上的大圆弧均投影为直线，灯光从模型中心向外移动，纬线间隔逐渐缩小。

在进行投影时，如果预先在模型的极点和同一经线的不同纬度上，放置若干个不透明的小圆，经灯光照射后，就会发现极点的小圆保持不变，极点向外的小圆在投影面上变为椭圆形，而且椭圆的长轴和短轴，都要比小圆的直径大，如果把灯光沿着与平面垂直的方向远移，则椭圆形逐渐变小，长轴和短轴的差数也逐渐缩小，当灯光移到距离等于模型的直径（即另一对应极点）时，模型上的小圆在平面上又变成圆形（如图 1—13），但是圆的直径要比模型上的小圆直径大，这时的投影性质属于等角投影。如果灯光继续远移，小圆又变成椭圆，但椭圆的一个轴开始缩小了。

从上述的试验中，可以很明显的看出，在进行地图投影时，肯定会产生变形；在投影图上不同位置变形不同，投影中心点无变形，从投影中心向外变形逐渐增大。

（2）圆锥投影

以圆锥体作为投影面，把圆锥体的内侧面与地球仪相切或相割，将地球仪上的经纬线网投影到圆锥面上，然后把圆锥面展为平面而成。

如图 1—14，为正轴透视圆锥投影。投影后经线为放射状直线，各经线间的夹角小于相应的经度差，纬线为以经线交点为圆心的同心圆弧。

由于地球仪与圆锥体相切或相割位置不同，分为正圆锥、横圆锥和斜圆锥投影（图 1—

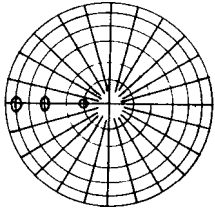
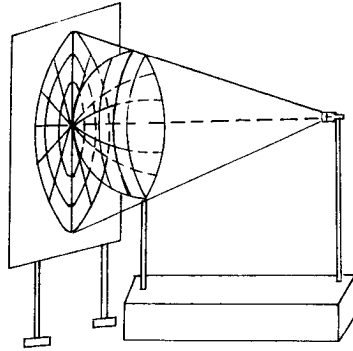


图 1-12 方位投影
经纬线形状



把半球模型投影在平面上

图 1-13 方位投影方法示意图

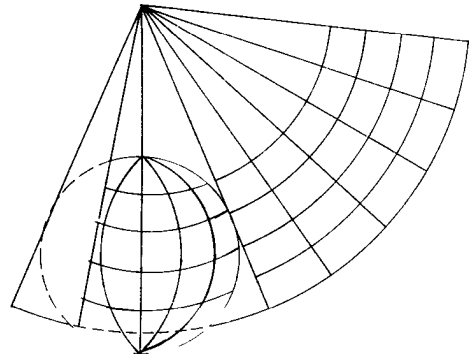


图 1-14 圆锥投影示意图

15).

正轴圆锥投影主要适合于编制中纬度地区的地图。在投影时可以是圆锥体与地球仪相切或相割，至于采用切圆锥还是割圆锥，决定于制图区域所跨纬度大小。如果所跨纬度较小，采用切圆锥投影；如果所跨纬度较大，则采用割圆锥投影。相切或相割纬线（即标准纬线）的选择，要根据制图区域的具体位置而定。

在切圆锥投影上，圆锥面与球面相切的一条纬线符合主比例尺，是不变形的线，称为标准纬线。这条纬线通常位于制图区域中间的位置，从切线向南向北，变形逐渐增大。在割圆锥投影上，球面与圆锥面相割的两条纬线符合主比例尺，是不变形的线，离开这两条线向两边，变形逐渐增大，凡是离标准纬线距离相同的地方，变形数量均相等。在正圆锥投影上，等变形线为与纬线平行的圆弧（图 1-16）。

(3) 圆柱投影

圆柱投影是假定以圆柱面作为投影面，先将球面上的经纬线投影到圆柱面上，然后把圆柱面展开为平面。

在投影时圆柱的轴与地轴重合的，称为正圆柱投影。图 1-17 为透视圆柱投影示意图，这种投影的经线为间距相等的平行直线，纬线为垂直于经线的直线。

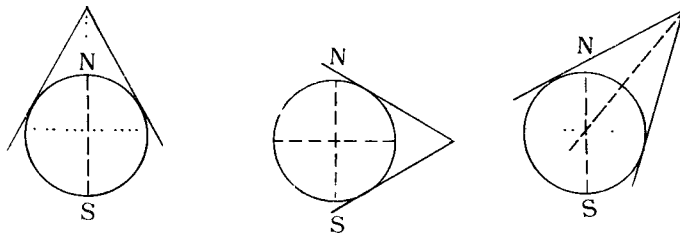


图 1-15 正、横、斜圆锥投影示意图

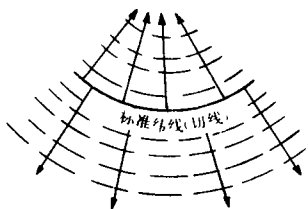


图 1—16 圆锥投影等变形线分布规律

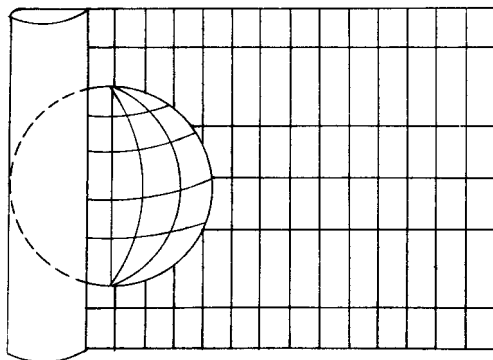


图 1—17 透视圆柱投影示意图

在构成圆柱投影时，根据制图要求可以是圆柱面与球面相切，也可以是相割的，当相切时赤道是没有变形的线，当相割时相割的两条纬线是没有变形的线。凡是距赤道或相割两条纬线距离相等的地方，变形数量都相同，其等变形线为与切线或割线平行的直线，从切线或割线向外变形增大。

(4) 其它投影

上面讲的投影是借助一定的几何面构成的。除此以外多数投影不是借助几何面，而是根据一定要求，借助数学计算的方法构成的，称之为条件投影。

二、比例尺

(一) 意义

地面上各种地理事物，不可能按它们的实际大小描绘在图纸上，而是需要缩小一定倍数进行描绘，这种缩小的比例关系，就是地图的比例尺。比例尺是地图的数学基础，地图比例尺的不同，内容的详略程度不同，精度不同，用途也各不相同。

比例尺的定义是指地图上某一线段的长度（ d ），与实际地面相应线段水平长度（ D ）之比，即。

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

式中： M 为地图比例尺的分母，比例尺是用分子为 1 的分数来表示的。例如地面长 274 米的直线，在地形图上表示为 13.7 厘米，则这幅地图的比例尺为 1 : 2000。从上式可以看出，分母愈大，比例尺愈小；反之分母愈小，比例尺愈大。地图比例尺的大与小，和地图内容的详略关系密切。

大比例尺地图称为地形图，小比例尺地图称为地理图。地形图内容详细，地面事物在图上的几何精度较高，同时在地形图上，各地比例尺是一致的，因此可以根据地形图注明的比例尺进行量测工作。地理图内容概括较大，表示制图区域地理特点为主，几何精度相对较低，在地理图上图面比例尺是不一致的，地理图上所注明的比例尺称为主比例尺，适用于没有变形的点或线。根据地图投影的不同，在地理图上只有某一个点或某一两条线符合主比例尺

(投影时和地球仪相切或相割的纬线)，其余的地方不符合主比例尺，因此在地理图上不能按主比例尺任意进行量测工作。

(二) 比例尺的形式

常见的比例尺表现形式有以下几种：

1. 数字式

如： $1 : 50000$ 、 $\frac{1}{10000}$ 。

数字比例尺在图上是不注明长度单位的。

2. 说明式

如“图上 1 厘米等于实地 10 公里”，则该地图的比例尺为 $1 : 100$ 万。

3. 图解式：又分为直线比例尺和斜线比例尺两种。因为利用数字比例尺求实际距离时，需要经过换算。为了减少换算的工作，在地形图上绘有直线比例尺，根据直线比例尺，可在图上直接量测距离。

(1) 直线比例尺

直线比例尺的画法：先画一条水平直线把直线分成若干小段，每段长 1 厘米 (或 2 厘米) 每一小段称为比例尺基本单位。在直线第一个基本单位的末端 (由左向右) 注记为 0，其它每小段都按比例尺所代表的实地长度注明数字。在数字的末端需要注明单位 (图 1-18)。



图 1-18 直线比例尺

为了提高量测的精度，在直线比例尺最左边的一个基本单位分为 10 等分，以利于量测工作精度的提高。

(2) 斜线比例尺

斜线比例尺如图 1-19 是在直线比例尺的基础上，利用相似三角形原理，在图上量测时可直接读出比例尺的基本单位 0.01 的分划值。

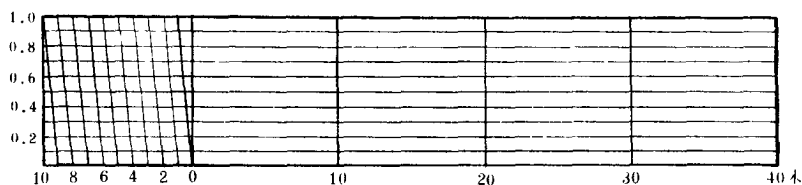


图 1-19 斜线比例尺

斜线比例尺的画法：首先画出直线比例尺为基尺，过每个基本单位的分点，作长度为一个基本单位长的垂线，将垂线分为 10 等分，过等分点画平行直线；将基尺两端的基本单位作 10 等分，过基尺的 0 点和顶尺的第一个等分点连一斜线，过基尺的第一个分点与过顶尺第二个分点连一斜线，……最后过基尺的第 9 个分点，和顶尺的左端点连成斜线，便构成了斜线比例尺 (图 1-19)。

根据相似三角形原理，可知在第一条平行线上截出的一小段，相当于比例尺基本单位的百分之一，第二条平行线上截出的一小段相当于百分之二，……将它们分别注记在平行线的两端。斜线比例尺可提高量测的精度。

(三) 比例尺的应用

根据地形图的比例尺，可以进行长度量测工作。例如在 1:10000 比例尺的地形图上，量得图上直线长度为 2.5 厘米，则其地面的实际长度为：

$$2.5\text{cm} \times 10000 = 25000\text{cm} = 250\text{M}$$

即图上长度乘比例尺分母，等于实际长度。

根据地形图的比例尺，也可以进行面积量测工作。面积比例尺为长度比例尺的平方。例如长度比例尺为 1:5 万，则其面积比例尺为 (1:5 万)²。在进行面积计算时，是用图上面积乘以比例尺分母的平方，例如在 1:5 万地形图上，量得水库面积为 76.8 平方厘米，其实际面积为： $76.8\text{cm}^2 \times (5\text{万})^2 = 19.2\text{km}^2$

在测绘地图和野外实际填图时，往往需要把地面上的实际长度，填绘到地形图的相应位置上，这时需要将地面的实际长度，按地形图的比例尺换算为图上长度。上例中量得地面上线段长度为 250 米，在 1:1 万地形图上的图上长度，应为实际长度除以比例尺分母：

$$250\text{M} \div 10000 = 2.5\text{cm}$$

第五节 地图符号和注记

一、地图符号的意义和功能

地图符号是地图的语言，它们是表达地图内容的基本手段，阅读和使用地图需要认识符号，就象看书需要认字一样重要。至于绘制地图，则需要对符号有更深刻的认识。地图符号是表示地图内容的专用图形，运用符号能够充实丰富地图的内容，提高地图的易读性，利于地图的量算与使用。因此运用符号是地图的基本特性之一。

地图符号的基本功能：它表示地图内容的类别（如水体、道路）及其数量特征和质量特征（如水量、流速、底泥、汞含量等）；表示事物的空间位置和分布（如人口密度分布、大气污染分布、土壤污染分布等）；地图符号具有相互制约有机地表达地表环境要素总体特征的功能，它能充分表示单个符号所不能提供的集合信息，所以地图符号应有一个完整的系统。

现代地图符号系统和原始地图的写景符号有本质的区别。原始地图主要采用写景的方法，从表达的内容来说，是能看到什么就画什么；从表达手法来说符号愈象实物愈好。后来由于生产发展和人类对于自然与社会认识的不断深入，再加上数学和测量学的发展，使地图表示方法从概略表示事物分布的写景符号，发展到具有一定数学基础，能精确定位的水平投影符号。进而又使那些只能表示地面事物的个体符号，向着分类、分级、综合分析的符号系统方向发展。这种定位的概念化的地图符号系统，不仅解决了地表环境内容复杂，地图符号表达的困难，而且能充分表达地表环境的群体特征。因此对地表环境要素经过分类分级，来制订

的具有概念形式的抽象化的地图符号，实质上是对地表环境要素的第一次综合。

二、地图符号的分类

地表环境要素是丰富多样的，表达这些要素的符号，虽然经过了抽象概括，但符号的类型、数量是很多的，为了对符号的本质特征加深认识，下面对它们进行分类研究。

(一) 按符号的视点位置分类

这种分类可分为侧视符号与正视符号(图 1-20)。

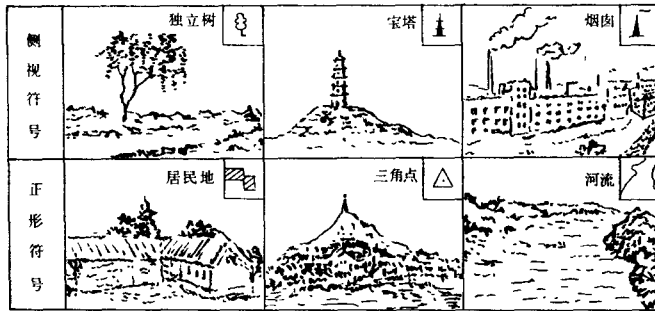


图 1-20 侧视符号和正视符号

它是从符号设计图形的角度来划分的。侧视符号，符号图形就象从侧面观察物体形象一样，是一种近似于物体侧面轮廓的图形，如图 1-20 中的独立树、宝塔等。正视符号，符号图形以水平投影为基础，相当于从高空垂直向下俯视地物所看到的形象，是一种平面轮廓图形，如图 1-20 中的居民地、三角点等。

(二) 按地图符号的定位分类

分为定位符号、说明符号和注记符号三种。定位符号是指在图面上有确定位置，不能随意移动的符号。地图上的符号属于这一类的很多，如河流、居民地、境界线等。这些符号都可以经过量测，确定其在地面上的具体位置。

说明符号，是属于一种补充的符号，用来说明所表示事物的数量特征和质量特征，如说明森林树种的符号、果园种类的符号等。它们在图面上只起说明作用，没有定位的作用。

注记符号，是用来说明事物的名称、数量或质量特征。由于各种注记的性质不同，又分为名称注记和说明注记两种。名称注记是对事物的专有名称的注记，如北京、长江、太湖等；说明注记，如“咸”、“1000”等，用以说明水的质地、地面的高程等。地图上的注记并不严格定位，但它要依附于所说明事物的符号，所以属于半定位的配置在一定的范围内。

(三) 按符号和地图的比例关系分类

地表环境的各种事物总是占有一定面积的，但物体大小相差悬殊，如湖泊、井、泉等。面积较大的，按地图比例尺缩小后仍能按真轮廓形状表示在图上，面积小的按地图比例尺缩小以后就无法表示了，但是从实际意义来说又很重要，在地图上需要表示出来。根据地物与符号的比例关系，符号分为比例符号、半依比例符号和不依比例符号三种。

1. 比例符号