地图投影图集

龚剑文　胡毓钜　编

测绘出版社

地图投影图集

龚剑文　胡毓钜　编

测绘出版社

内 容 简 介

本图集详细介绍了地图投影的构成，投影中的各种变形，各种常用投影的图形和一些特殊形状的投影，采取以图为主，配合简要文字说明的方式，使读者对地图投影能得到直观的感性认识和一般知识。

附录中载出一些常用投影公式及我国常用的地图投影名称，以备查用。

本图集可作为测绘院校地图制图专业、综合性大学及师范院校地理系学生的地图投影、地图编制和地图学课程的辅助教材，也可以作为中学地理教师和地图制图技术人员的参考书。

责任编辑：冯玉芳
封面设计：麦柏楠

地 图 投 影 图 集

*

测绘出版社出版
西联胶印厂印刷
新华书店北京发行所发行 · 各地新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 · 印张 $5\frac{2}{8}$ · 字数 35 千字
1985年 1 月第一版 · 1985年 1 月第一次印刷
统一书号：15039·新352·印数 1—6,000册·定价0.90元

科技新书目：
[90—162]

前 言

作为太阳系星体之一的地球，是一个略带扁率的近似球形。在测绘科学中，把它视为旋转椭球。

从太空观察地球，它几乎是一个圆球，因为近三百分之一的扁率和地面高山对海平面的最大高差不到九公里，这同地球的平均半径六千三百七十公里相比已很微小，当比例尺缩小后，就不能目视觉察了。但在大地测量计算和大比例尺制图中，仍应视为椭球以保证精度，只有小比例尺制图中，把它作为圆球看待。

地球的实际表面是一个极不规则的复杂曲面，要了解它的整体或其一部分，就要对它作考察。但是，人们不可能处处事事都亲自到现场考察。有时不得不借助于间接的手段来考察它。地球仪是一个可取的工具。它把地球缩小后呈现在你的眼前，人们可以像宇宙中的巨人一样俯视地球仪。但是，即使做一个直径为一米的地球仪，它的比例尺已小到一千二百七十万分之一。你已无法在这个地球仪上表现许多较小的地物，更不必谈制作上的困难和搬动应用的不便。因此，地图才是最有实用和科学价值的工具。它能大至把地球整体显示到一个平面上，小至把小块地区的详情细节表示出来。视应用的需要，人们可以用不同比例尺把整个地球表面或其一部分有条件地表示为平面上的图形。这就是地图制图学的任务。

无论把地球视为旋转椭球或球，在数学上都是不可展开的曲面，而地图是一个平面。因此，要用数学方法来解决椭球（或球）表面到平面的转换问题。这就是用数学方法在平面上建立一组与地面上相应的经纬线网表象。也就是建立地图的数学基础。

地图投影学的主题就是建立地图的数学基础。因为地图平面决不可能毫无差异地表现出地面的经纬线网形状，而是一定带有这种或那种变形。而且因投影产生的变形，有质量和数量上的变化，所以地图投影学必须研究变形的性质和大小，使得所设计的地图投影中的变形性质和大小不致成为妨碍地图使用的因素。

地图投影中的变形，本质上是由于曲面到平面的变换中，一点上不同方向长度变化不一致以及不同点上同一方向的长度变化也不一致而产生的。因此形成有长度、角度、面积方面的变形。

为了克服这种或那种变形，人们在地图制图发展的历史进程中创造、改进了不同性质和特点的投影。这就是为什么现今地图投影学中有了许许多多投影。

有些投影，尽管在外表形式上有相同的经纬线网形状，但有着不同的内在特性（变形性质不同）。有些投影，由于投影方式（如“投影面”与地球相对位置）不同，虽然变形性质相同，却有着不同的经纬线网表现形状。因此，在学习地图投影理论的同时，能辅之以直观的地图投影图形，将有助于对各种地图投影特点及其应用的较深入了解，也可以作为实际制图中设计地图投影时的参考。对于中学地理教师应用地图进行教学时，本图集将提供各种地图投影和变形情况，这对中学地理教育将是很有益的。

这本图集集中了较多的常用投影和少量构图上别致的投影以及一些特殊地图投影网格和略图，并对每个图作了简要说明，其目的是帮助读者在读图时能鉴别一般地图所用的地图投影。

本图集是在武汉测绘学院自印辅助教材《地图投影参考图集》的基础上，由龚剑文、胡毓钜增补新图和编写了说明而成的。先后参加绘制图稿的还有黄伟、徐燕燕和尹章伟。徐静弟作了说明文字的校订。

本书全文承吴忠性教授、张力果副教授作了仔细的审订并提出了宝贵的意见，特致谢忱。

编 者

一九八三年

目　录

地图投影中常用的符号

a、b——地球椭球的长短半轴；变形椭圆的长短半轴；主方向长度比

α——地球椭球扁率；方位角；地图投影常数

e^2,e'^2——地球椭球的第一、第二偏心率

M、N——地球椭球经线及卯酉圈曲率半径

r——地球椭球纬线半径

s——经线弧长

S——地球椭球梯形面积

R——地球球半径

φ、λ——地球椭球或球上点的纬度与经度

φ_o、λ_o——地图投影中心点的纬度与经度；球面极坐标原点Q的纬度与经度

Q——球面极坐标原点，即新极点

α、z——球面极坐标中的方位角和极距

x、y，X、Y——地图投影平面直角坐标

φ_1、φ_2、φ_k——地图投影中的标准纬线纬度

Z_k——斜方位投影中投影平面所割小圆的极距

m、n——地图投影中沿经线与纬线的长度比

μ_1、μ_2——沿垂直圈、等高圈的长度比

v_μ——长度变形

P——地图投影中的面积比

v_p——面积变形

ω——地图投影中的最大角度变形

ρ——地图投影中的纬线或等高圈半径；弧度(以度、分、秒计)

ρ_s——制图区域内最低纬圈半径

K、C——地图投影常数

$\lg U$——等角表象中纬度的函数，其中

$U = \mathrm{tg}(45^\circ + \varphi/2)/\mathrm{tg}^e(45^\circ + \psi/2)$，$\sin\Psi = e\sin\varphi$

θ'——经纬线投影后的夹角

Mod——$\lg e$，即0.43429448

一、地图投影的一般知识

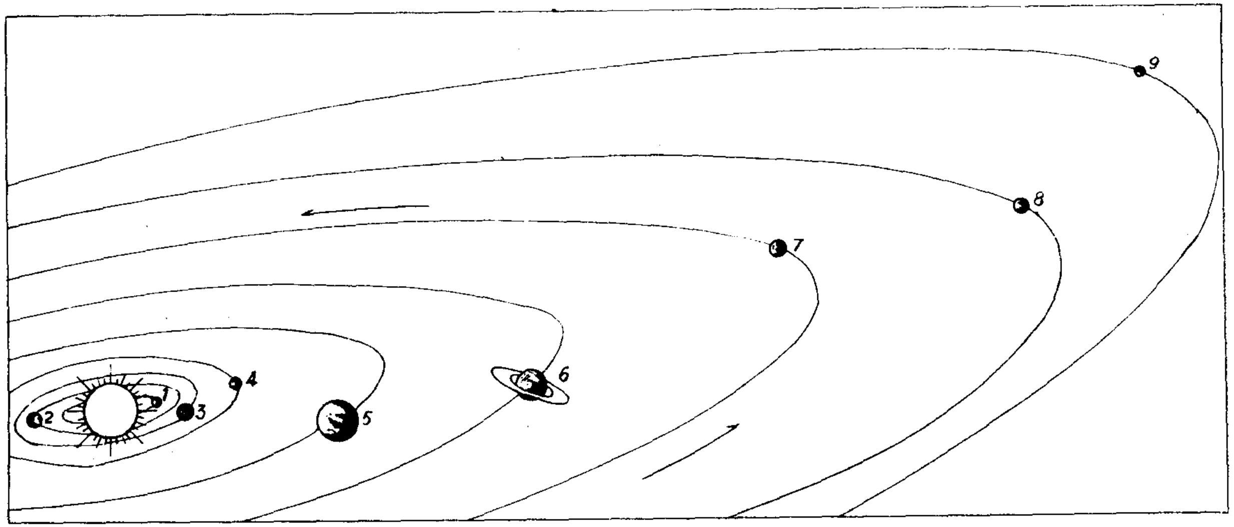


图 1　1.水星 2.金星 3.地球 4.火星 5.木星 6.土星 7.天王星 8.海王星 9.冥王星

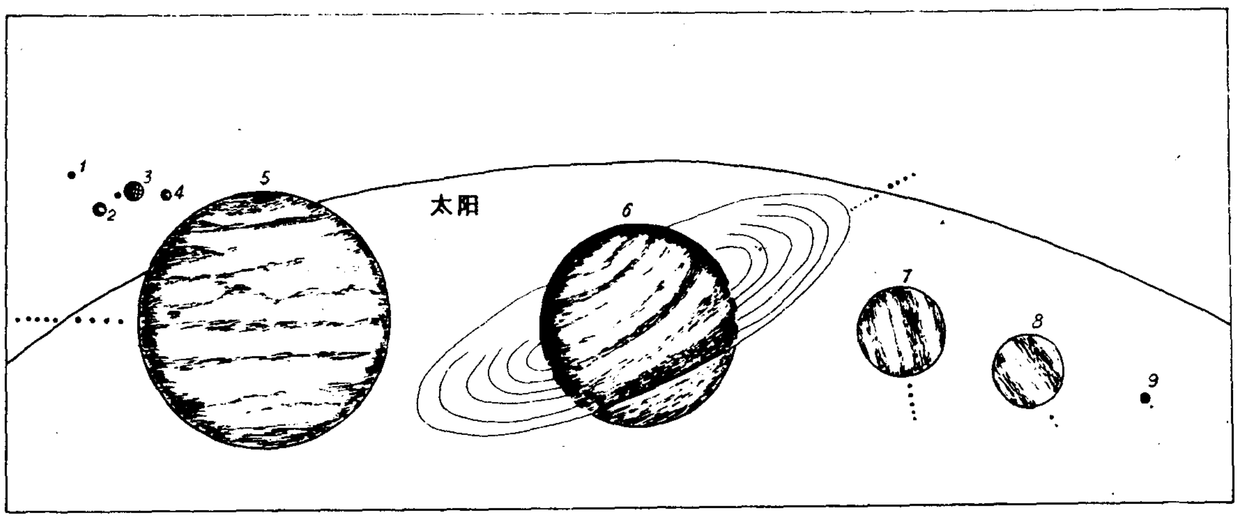


图 2

一、 地图投影的一般知识

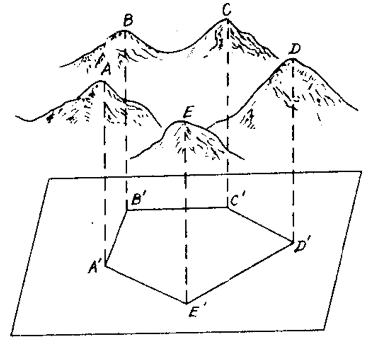
图 1 是太阳系，其中太阳是太阳系的中心天体，它是一颗恒星。太阳系有九大行星围绕太阳旋转，按照它们距太阳的距离，由近到远依次为：水星、金星、地球、火星、木星、土星、天王星、海王星、冥王星（图 1）。

地球是太阳系中的唯一有人类生活的重要星体。人类生活在地球表层，其活动范围包括陆地、海洋、地表大气层以及地下的一定深度。地球在宇宙中的地位，它的形状和大小、运动和自身结构与人类活动息息相关，因此，了解地球本身的基本情况是十分必要的。

地图制图学中的地图投影学随着人类对宇宙认识的发展，已不是仅仅限于研究如何将地球展开到平面上，其它星体（如太阳系中另外几个星体）如何表示到平面上也是它研究的对象。

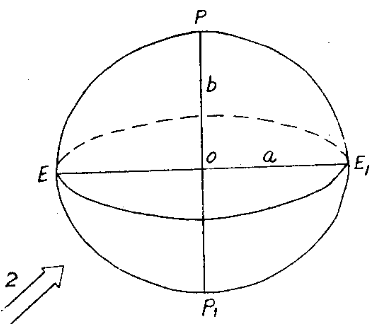
太阳系九大行星的情况比较如下表：

行星	赤道半径（公里）	扁率	质量（地球＝1）	密度（克/厘米^3）	体积（地球＝1）	赤道对轨道倾斜	卫星数	到太阳距离（天文单位）
水星	2434	0.0	0.053	5.5	0.054	$<10°$	0	0.39
金星	6050	0.0	0.815	5.3	0.88	6°	0	0.72
地球	6371	0.0034	1.000	5.52	1.00	23°27′	1	1.0
火星	3394	0.0052	0.107	3.94	0.149	24°55′	2	1.52
木星	69663	0.0062	318.00	1.357	1316	3°04′	14	5.2
土星	56800	0.108	95.22	0.7	755	26°45′	10	9.5
天王星	25640	0.01	14.55	1.21	52	97°53′	5	19.2
海王星	24950	0.026	17.23	1.57	44	28°48′	2	30.1
冥王星	1200		0.9	>6.1	0.1		1	39.4



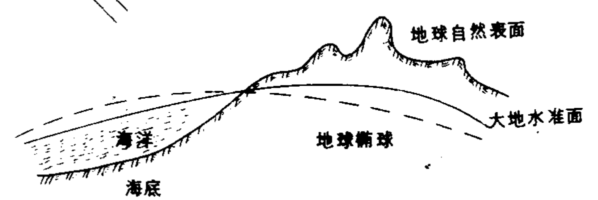
A
B
C
D
E
A′
B′
C′
D′
E′

图 4



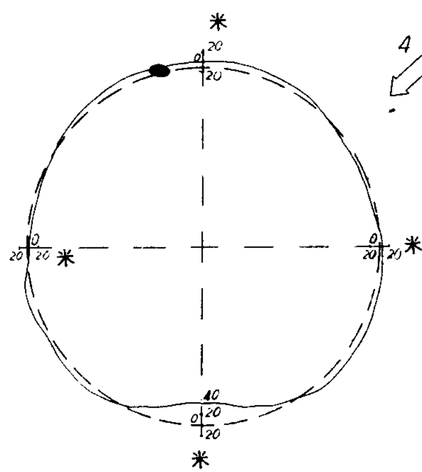
P
b
o
a
E
E1
P1

图 5



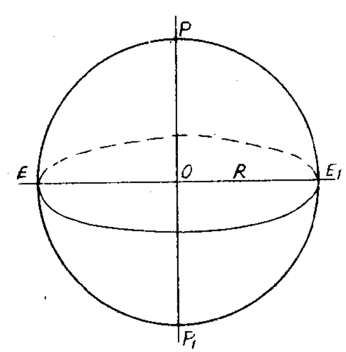
地球自然表面
大地水准面
地球椭球
海洋
海底

图 3



20
0
20
40

图 6



P
E
O
R
E1
P1

图 7

地球的形状近似于一个球，它的自然表面是一个极其复杂而又不规则的曲面，有高山、丘陵、平地、凹地和海洋等，在大陆上，最高点珠穆朗玛峰高出平均海水面 8848.13 米，在海洋中，最深点为 - 11034米的马利亚纳海沟，二点高差近两万米。由于地球表面的不规则，它不可能用数学公式来表达，因此无法对它进行运算，所以在地球科学领域中，必须寻找一个大小和形状都很接近地球的数学表面来代替它。

大地测量中用水准测量方法得到的地面上各点的高程是依据一个理想的水准面来确定的，我们称它为大地水准面。大地水准面是假定海水处于“完全”静止状态，把海水面延伸到大陆之下形成包围整个地球的连续表面。大地水准面虽然比地球的自然表面要规则得多，但是还不能用一个数学公式表示出来，为了便于测绘科学成果的计算，通常选择一个大小和形状同它极为接近的旋转椭球来代替，即以椭圆的短轴（地轴）为轴旋转而成的椭球，称之为地球椭球，它是一个纯数学表面，可以用简单的数学公式表达。有了这样一个椭球面，我们即可建立椭球面与投影面（平面）之间一一对应的函数关系（图 3）。

下面是在实用中选择地球大小和形状的一些情况。

对于不大的测区，如一个校园、一个工厂等，可视地球为平面，将测图地区按一定比例缩小，把地形、地物等用垂直投影方法表示到图纸平面上（图 4）。

对于国家规定的地形图系列，1:1000000，1:500000，1:250000(或 1:200000)，1:100000，1:50000，1:25000，1:10000等，以及测区虽然不大，但精度要求很高的情况下，必须把地球视为旋转椭球来考虑（图 5）。目前我国采用椭球的数据如下：

长半轴　$a = 6378245$米

短半轴　$b = 6356863$米

当编制较小比例尺地图，区域较大时，例如全世界、半球、某大洲或一个大洋等，可以不考虑地球扁率，用一个符合某种条件的球来代替，这样对地图投影的计算较方便，又能满足在制图上一定精度的要求，关于地球半径的选择有下列几种情况（图 7）。

等面积球的半径　即使球的表面积等于地球椭球的表面积，其半径为：

$$R_{等面积} = 6371116米$$

等体积球的半径　即使球的体积等于椭球的体积，其半径为：

$$R_{等体积} = 6371110米$$

实际上根据人造地球卫星轨道参数资料推算出地球形状，它既不是球，也不是一个旋转椭球，而是一个像图 6 所示梨状体，北极位于梨柄处，而南极位于梨底，假设以赤道海平面到地心为半径作一圆，则北极海面高出此圆18.9米，而南极海面低于此圆25.8米。

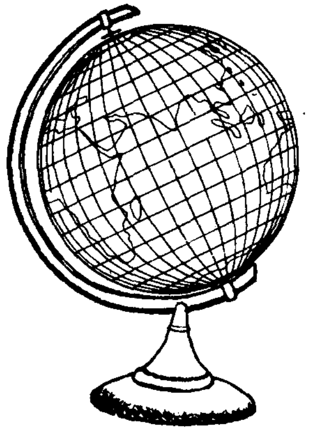


图 8

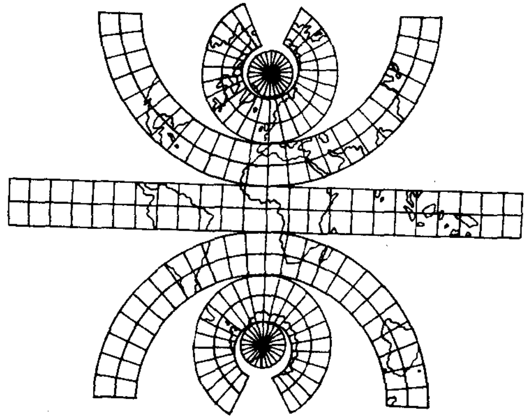


图 9

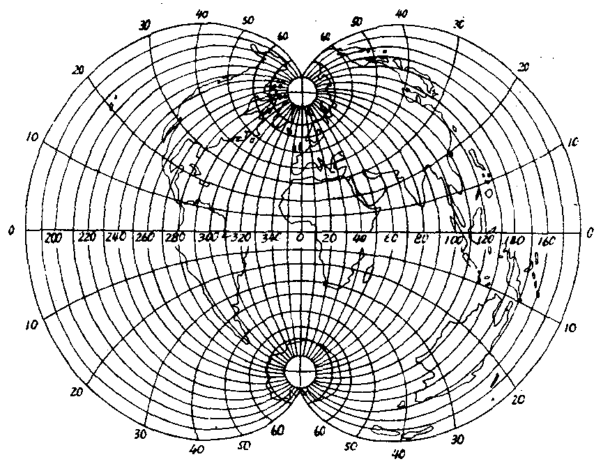


图 10

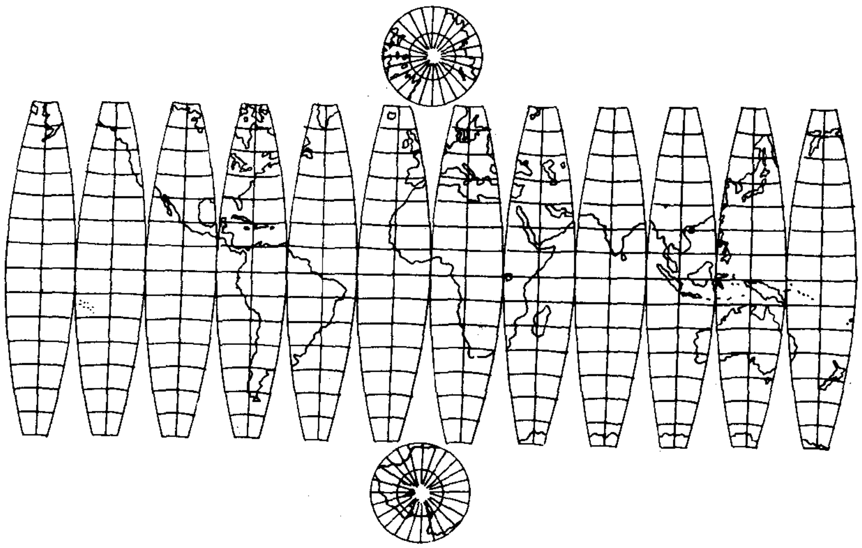


图 11

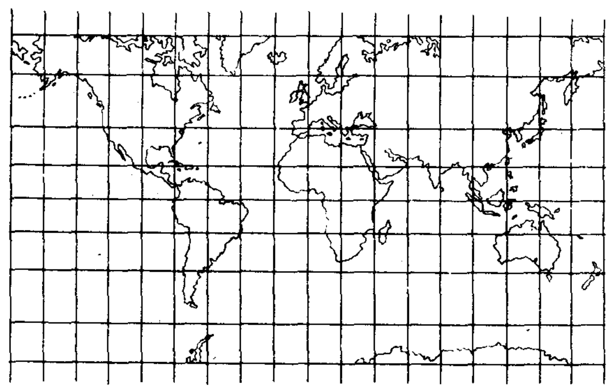


图 12

地球表面，即使把它当作一个椭球或正球看待（如图 8 中地球仪），在数学上讲，它也是一种不能展开的曲面。这就是说，将地球上经纬线网投影到平面上，必定会产生变形，这是不可避免的。现在我们用直观的方法来说明这个问题。设想用刀将一个地球仪的表面沿经线或纬线切开，成为无数条细长的梭形或圆环，其宽度尽量地小，以便使每一条都可以平铺在平面上，这样我们就可以得到无数条裂开的梭形长条（图11）或圆环（图 9），这些长条或圆环沿赤道或沿中央经线是连续的，其它地方则裂开成为不连续的图形，如果要使它们连续起来，则必须将裂开的部分适当“拉伸”，使两边经线或纬线相合起来，不然，则须将接近的部分作适当“压缩”，同时裂开最多的部分仍须“拉伸”，方能成为一幅完整的地图（见图10和图12）。由于“拉伸”或“压缩”就使长条内的经纬线网和地形要素改变了形状和大小，这就是变形。

关于变形的形状和大小，可根据所编地图的用途、比例尺、区域大小、位置、轮廓形状及特殊要求来确定。例如，可以使某一部分的变形为最小，而忽视其它部分；或者使全部变形同时减少到我们指定的程度；甚至保持某一条件而忽略其它条件。这里谈的条件是指球面上（椭球面上）的距离、面积、角度（或形状）而言。例如，一个投影保持图上某一特定点为中心到其它任何点的方向和距离正确，那么在该投影所编地图上的面积和形状会和地面上相差很大；如果要求图上面积保持正确，则距离、角度（或形状）必定有较大变形；而为了保持方向和微小地区形状正确，则必引起距离和面积较大的变化，从图上看出，澳洲在沿纬线切开和沿经线切开的两幅地图（图10和图12）中所表示的形状、面积大小是不一样的。

由此可见，地图上存在有变形，但我们根据地图投影知识，可以设计某种地图投影，控制其所引起的变形大小和分布，满足所编地图的需要。相反，掌握了地图中投影变形大小及分布的规律性，我们就能更好地使用地图，得到较精确（经过改正后）的数据资料，例如在图上量测点位、长度、面积、体积、坡度等数据。

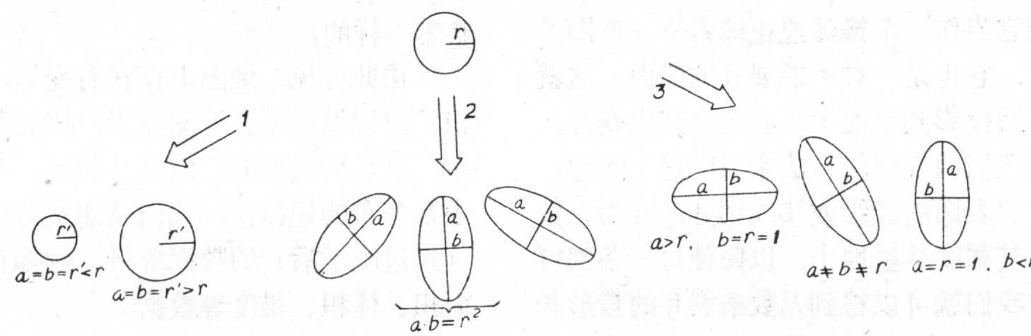


图 13

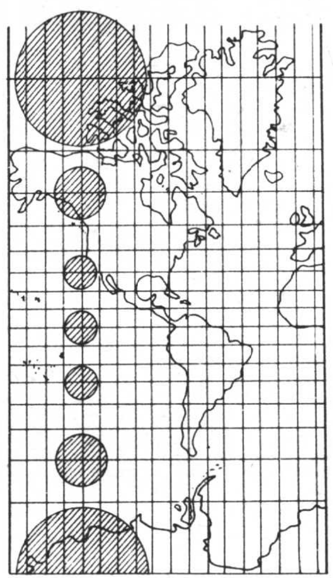


图 14

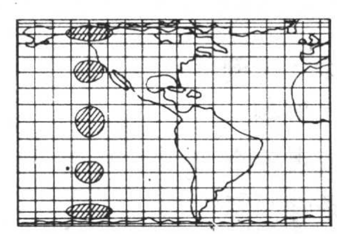


图 15

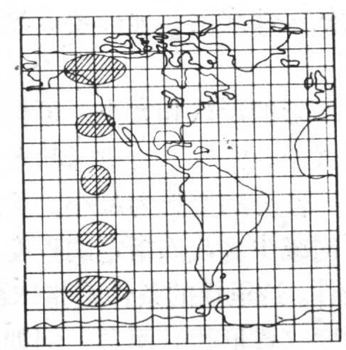


图 16

既然地图投影中必然会产生各种各样的变形，那么用什么办法去衡量其变形大小、形状和分布呢？能最直观地表达变形特征的就是变形椭圆。下面我们将用变形椭圆来反映投影性质。

假设地面上有一个微小的圆（半径为r），称为微分圆，数学上已证明，投影后一般是一个椭圆，椭圆的长半径是该点上的最大长度比a，短半径是该点上的最小长度比b，有了长短半径，这个椭圆就完全确定了。根据变形椭圆的变化规律，地图投影按其变形性质可以分为下列几类：

1. 等角投影　这种性质的投影，微分圆投影后仍为圆形（椭圆的特例），如图13-1中所示，$a=b=r'<r$或$a=b=r'>r$（个别情况$a=b=r$），即保持图形相似的大大小小的圆形，而且角度也保持相等。正因为这样，才称之为等角投影（或正形投影）。由图13-1看出，形状虽然相似，但微分圆的面积变化较大。

用数学式子表示为$a=b>r$或$<r$（单位圆$r=1$）。

2. 等面积投影　这种性质的投影，微分圆投影后成为椭圆，但此变形椭圆的面积保持与微分圆的面积相等，即没有面积变形，故称等面积投影。如图13-2所示，不管椭圆变化到什么程度，总有$a.b=r^2$，用数学式子表示为：

$$p=a\cdot b=1\text{，即}a=\frac{1}{b}\ (\text{或}b=\frac{1}{a})$$

尽管变形椭圆的面积保持相等，但形状却变化很大。

3. 等距离投影　这种性质的投影，可以保持沿某一特定直线系（通常沿经线方向或交于一共同点的大圆方向）长度没有变形，称为等距离投影。应注意的是“保持等距离”也只限于上述直线系，而不是沿任何线。如图13-3中，微分圆变形后为一变形椭圆，但椭圆中必定有一个轴的长度等于微分圆的半径。

用数学式子表示为：

$$a=1\ (\text{或}b=1)$$

值得一提的是在投影中广泛存在着一种既不等角，又不等面积，其变形数值大小介于等角投影和等面积投影之间，微分圆投影后成为变形椭圆，由图13-3中看到$a\neq b\neq r$，我们称为任意投影。等距离投影则是任意投影中特殊的一种。

图14、图15、图16为正轴等角圆柱投影、正轴等面积圆柱投影和正轴等距离圆柱投影的网格形状及其变形椭圆的变化情况。

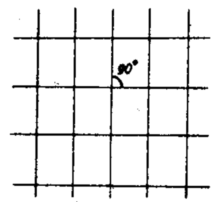


图 17

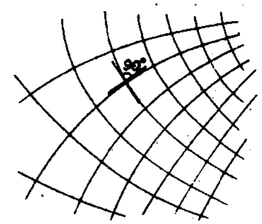


图 18

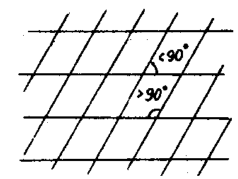


图 19

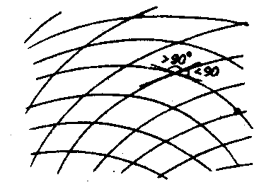


图 20

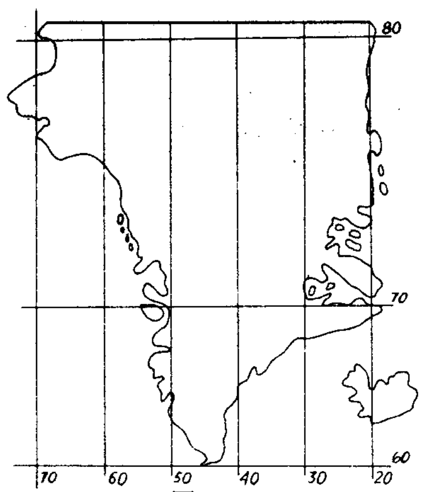


图 21

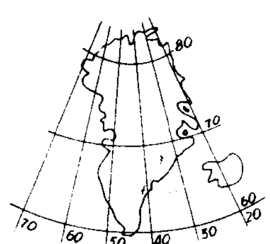


图 22

图17是具有等角性质的投影，其经纬线投影后一定为直角相交，即$\theta' = 90°$或$\varepsilon = 0$,但地图上经纬线投影后成直角相交的投影并不一定都是等角性质的投影。要测定投影后经线和纬线（呈曲线）的交角大小,可在交点处对曲线作两条切线,如图18中切线为正交；图19和图20中经纬线投影后交成锐角或钝角，则可肯定不是等角投影。

世界各国的国家基本地形图系列，为了国民经济建设和军事（量测距离和角度等）目的，均选用等角性质的投影。

在编制中、小比例尺普通地图、气候图、航空图等地图中，也广泛采用这种性质的投影。

图21和图22中是用正轴等角圆柱投影（墨卡托）和正轴等角圆锥（兰勃脱）投影编制的同一地区的地图，从这两幅图比较可看出，同一地区虽然采用同一种性质的投影，投影后其制图区域形状虽较近似，但面积变形差别很大。

实地上一个微分圆，在这种性质的投影中仍保持为圆形，即形状不改变（图14)。

等面积投影保持一面积在投影前后相等，即面积比为1($P=1$)或称没有面积变形（$v_P=0$)。

图23是边长为一公里，由两条经线和纬线所组成的正方形，其面积为一平方公里，正方形能以不同形状的正交或斜交形式出现，这个正方形在一对边的方向上发生了变化，则必在另一对边上发生相反的变化而补偿，因此面积仍能保持不变。

等面积性质的投影，适宜于某些要求面积正确的专题地图，例如行政区划地图，人口图，森林图以及矿产分布图等。

图24、图25、图26是不同类型的等面积投影地图，它们的经纬线投影后的形状不同区域轮廓形状变化很大，但同一地区的投影面积大小不变。在这种性质的地图上，量测方向和长度均有一定困难。

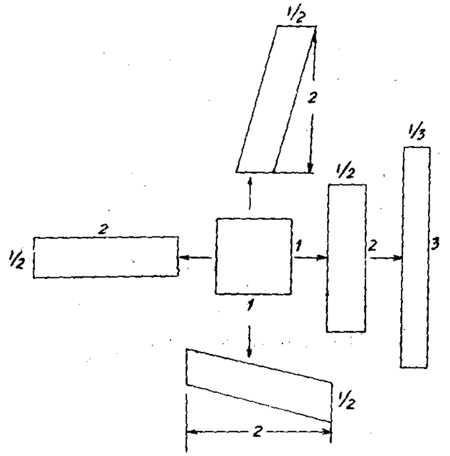


图 23

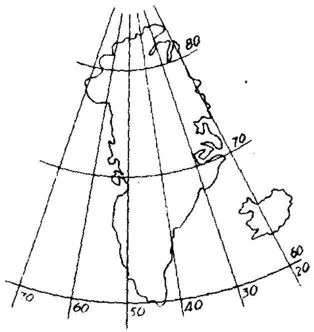


图 24

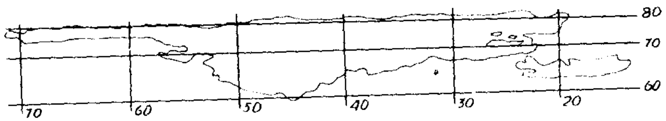


图 25

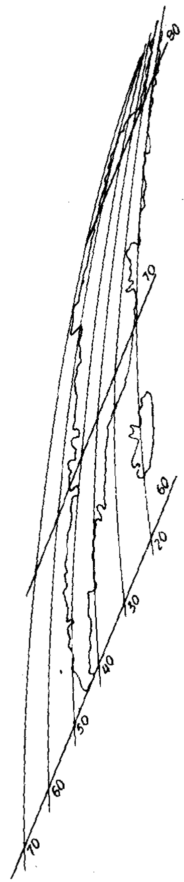


图 26

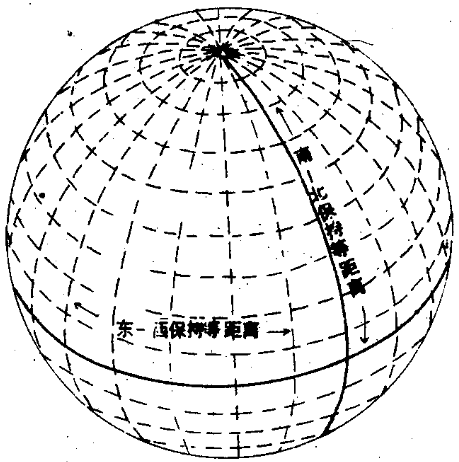


图 27

在一投影中沿着某一特定方向上的距离，投影前后保持不变，即沿该特定方向长度比等于1($a=1$或$b=1$) 称为等距离投影（注意：所谓距离保持不变，並不是指地图上任两点之间的距离与实地相等)。

从图27中可以看出，在地球仪上能保持任两点间的距离与实地相等。图28是一幅沿东西（沿纬线）方向保持等距离（即$n=1$)，而南北方向长度比离中央经线愈远则愈大（图28中向东增加)。图29是一幅沿南北方向（沿经线）保持等距离（即$m=1$)，而东西方向长度比向南增加。图30沿经线和纬线两者均与实地距离不等，即长度比随经度和纬度不同而变化。

由于该投影具有沿特定方向长度比为1的特点，因此在编制飞行基地、导弹发射中心、地震测站为中心的等距离地图时可保持此点到任何点的方向、距离都正确。有时也用于要求角度和面积变形都不大的地图。

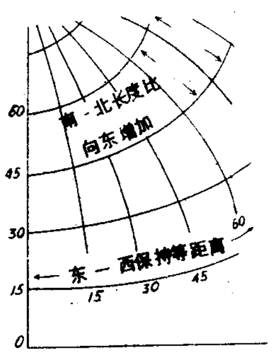


图 28

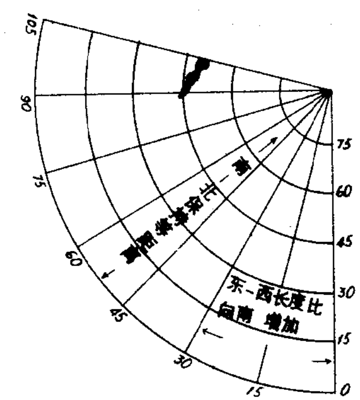


图 29

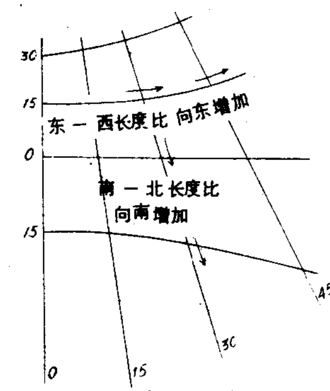


图 30