

Map projections

1. related terms

1. 子午线：经线
2. 大圆：球面上过球心的圆是大圆

1. Definition

What is map projection ?

map projection is the term used to describe a broad set of transformations employed to represent the two-dimensional curved surface of a globe on a plane. From Wikipedia.

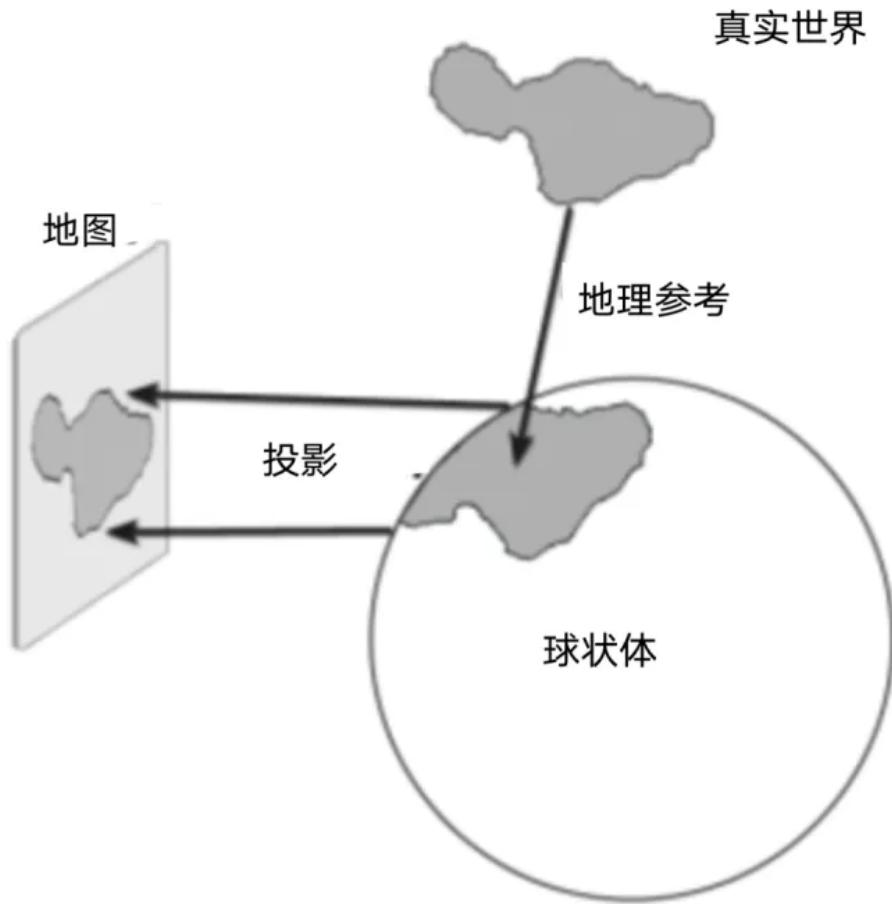
地图投影是利用一定数学法则把地球表面的经、纬线转换到平面上的理论和方法。

地球就是一个两极稍扁，赤道略鼓的不规则球体，近似于椭圆体。从空间三维角度来说，地球仪才是呈现地球的最佳方式，可无论是携带、查阅还是测距，地球仪并不如地图那么方便。但若采用二维平面地图的方式呈现地球，就意味着人们需要通过某种方式展开球面，将三维转换呈现在一个二维平面上，这种在球面和平面之间建立点与点之间函数关系的数学方法和过程，就是地图投影。其数学基础就是建立起平面上得点与地球三维表面上得点之间得函数关系：

$$x = f_1(\varphi, \lambda)$$

$$y = f_2(\varphi, \lambda)$$

形象得形容就是：剥一个橙子，将果皮压平。



地图总是在欺骗你，因为无法在二维平面上展示三维表面。当地球转化成平面，**变形不可避免**。地图投影会扭曲：

1. 距离
2. 方向
3. 形状
4. 面积

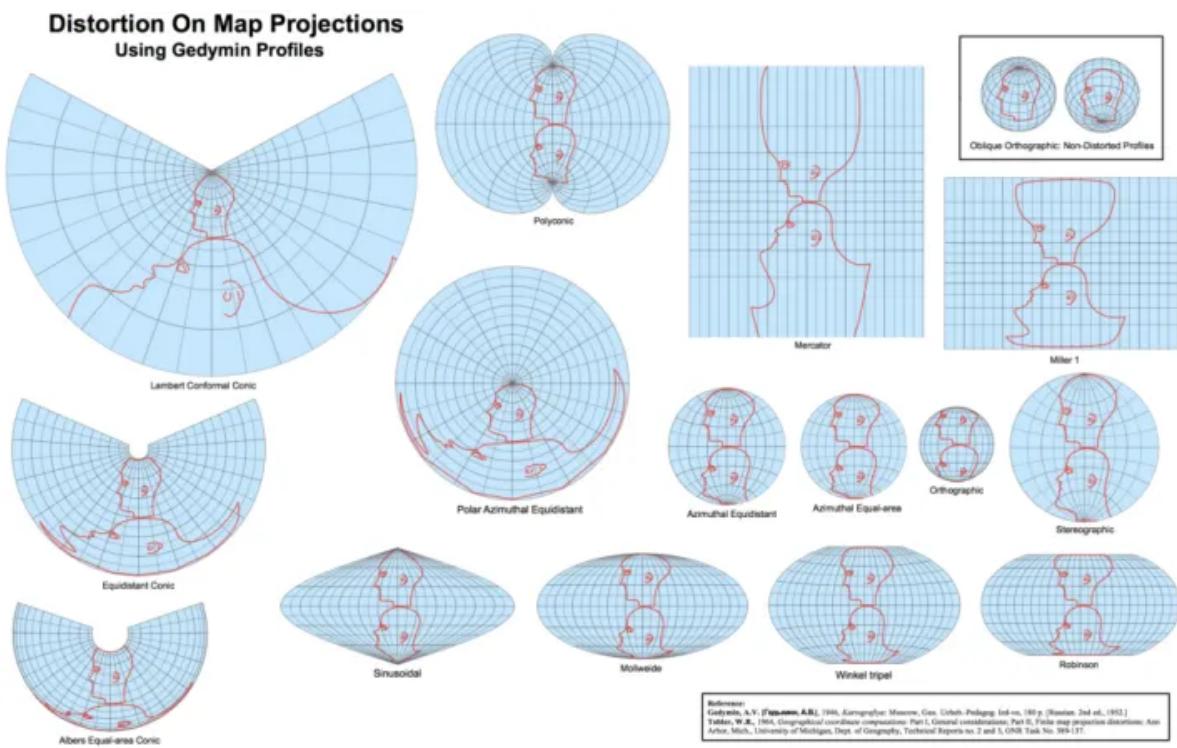


Figure 1950 年代，苏联制图师Gedymin开发了一套更大的头像，用于以易于理解的方式显示由地图投影引起的变形

2. Category

1 按照变形类型划分

理解地图投影如何改变空间属性的一种简便方法就是观察光穿过地球投射到表面（称为投影曲面）上。想像一下，地球表面是透明的，其上绘有经纬网。用一张纸包裹地球。位于地心处的光会将经纬网投影到这张纸上。接下来，可以展开这张纸并将其铺平。纸张上的经纬网形状与地球上的形状不同。地图投影使经纬网发生了变形。

用两个维度表示地球表面会导致数据的形状、面积、距离或方向发生变形。

不同投影会引起不同类型的变形。有些投影旨在最大限度地降低数据一种或两种特性的变形。投影可保持要素面积不变，但会改变其形状。

1.1 等角投影(conformal projection)

等角投影保持局部形状不变（保形）。要保留描述空间关系的所有角度，等角投影必须在地图上显示以 90° 相交的垂直经纬线，地图投影通过保持所有角度不变来加以实现。缺点是由一些弧线围起来的区域将在此过程中发生巨大形变。地图投影无法保持较大区域的形状

1.2 等积投影(equal area)

等积投影保持所显示要素的面积不变。为此，形状、角和比例等其他属性都将发生变形。在等积投影中，经线和纬线可能不垂直相交。有些情况下，尤其是较小区域的地图，形状不会明显变形，且很难区分等积投影和等角投影，除非加以说明或进行测量。

1.3 等距投影(equidistant projection)

等距地图保持某些点间的距离不变。任何投影都无法在整幅地图中正确保持比例不变。不过，多数情况下，地图上总会存在一条或多条这样的线：沿着这些线，比例值会得以正确地保留。多数等距投影都具有一条或多条这样的线：在此类线中，地图上线的长度（按地图比例计算）与地球上同一条线的长度相同，无论它是大圆还是小圆，是直线还是曲线。此类距离被视为真实距离。例如，在正弦投影中，赤道和所有纬线都显示了其真实长度。在其他等距投影中，赤道和所有经线具有真实长度。而其他投影（例如，两点等距离）仍会显示地图上一点或两点与相隔点间的真实比例。请记住，任何投影都不能实现地图上的所有点都是等距离的。

1.4 等方位投影

曲面（例如，地球）上两点间的最短路径是沿平面上直线的球面等价线。即，两点所在的大圆。真方向（或方位）投影维持某些大圆圆弧不变，从而能够相对于中心正确地给出地图上所有点的方向或方位角。某些真方向投影也是等角、等积或等距投影。（Mercator Projection）

2 按照正轴投影时经纬网形状划分

由于地图是平的，因此，一些最简单的投影就是投影到几何形状上，该形状可被展平，而不会不拉伸其曲面。这些曲面被称为可展开曲面。圆锥曲面、圆柱曲面和平面即为一些常用的可展开曲面。地图投影使用数学算法系统地对位置进行投影，从旋转椭球体的曲面投影到平面上的对应位置。

从一个曲面投影到另一个曲面的第一步是创建一个或多个接触点。每个接触均称为切点（或切线）。平面投影在某个点处与地球相切。相切圆锥和圆柱沿一条线接触地球。如果投影曲面与地球相交，而不只是接触其曲面，则产生的投影为相割情况，而不是相切情况。无论接触是相切形式还是相割形式，接触点或接触线都是很重要的，因为它们定义了零变形位置。真实比例的线包括中央子午线和标准纬线（有时称为标准线）。通常，变形会随距接触点距离的增加而增大。

2.1 圆柱投影(Cylindrical Projections)

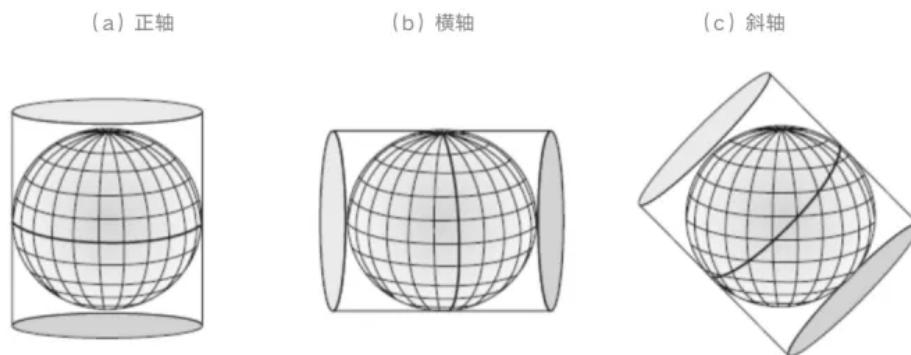
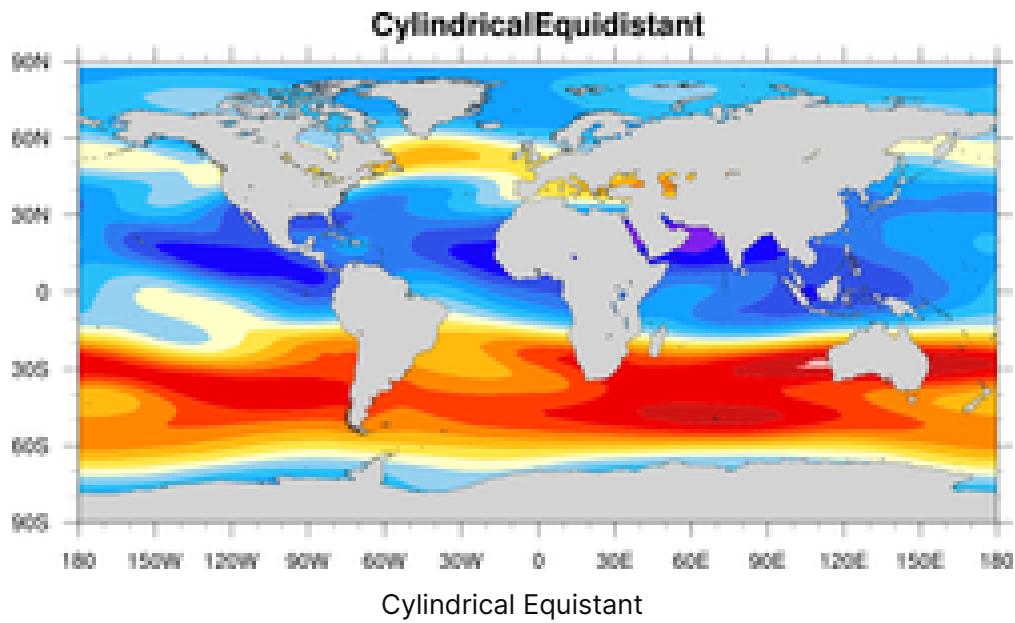


Figure 圆柱投影

圆柱被置于地球上。圆柱可沿一条纬线（正常情况）、一条经线（横轴情况）或其他线（斜轴情况）接触地球。

这种投影保持了经距和纬距相等，经纬线呈正方形网格状，这种投影的缺点在于高纬度地区变形较大。



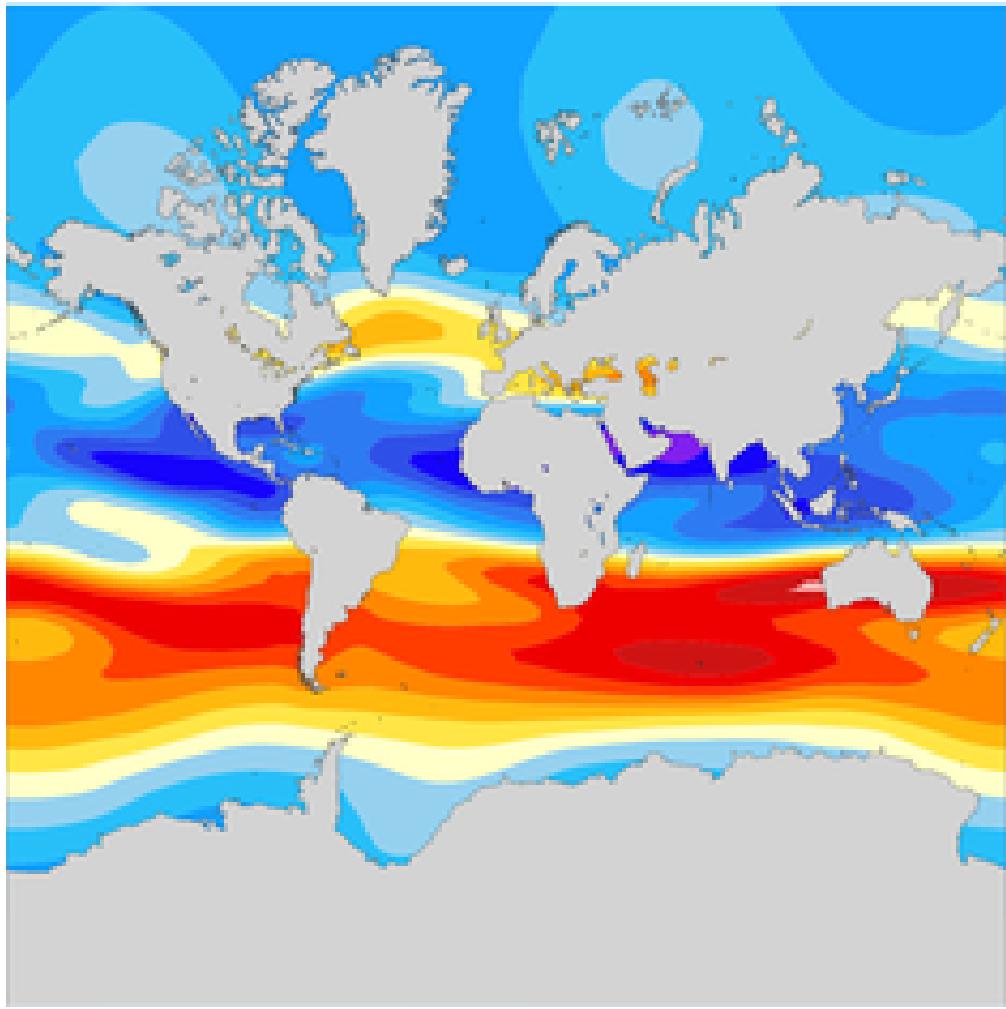
2.1.1 Mercator Projection(墨卡托投影)

荷兰地图学家墨卡托(Gerardus Mercator)于1569年首次通过数学投影与赤道相切的垂直圆柱体创建了墨卡托投影。由于它没有角度变形(**conformal**)，任何直线都是恒向线（方向不变的线），能够相对准确地显示地点之间的真实方向，所以在大海航行方面得到了广泛应用。

墨卡托投影 (Web Mercator) 在今天的互联网上也大放光彩，成为谷歌地图的首选投影，也是我们日常生活中最为常见的地图投影，互联网地图应用最为广泛的是道路导航，在此场景下使用墨卡托投影是最佳选择，这与大海航行的应用原理相似：它保留了线与线之间的角度，避免了形状的拉伸，并保持以北为上的指向。

其最大的缺点就是，和现实差别太大，陆地变形非常严重，离赤道越远的形状就越膨胀，特别在南极和北极，这使得格陵兰岛的面积看起来与非洲类似（事实上它只有非洲的 1/14 大小）。

Mercator



Mercator Projection



[The True Size Of ...](#)

2.1.2 横轴墨卡托投影(Transverse Mercator Projection)

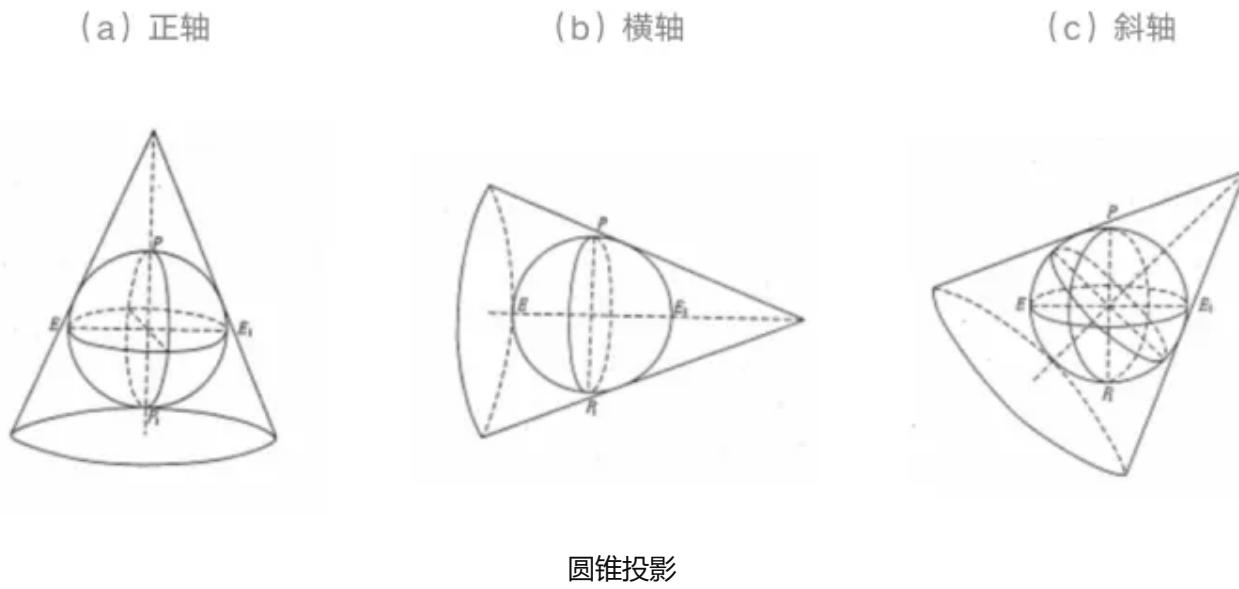
2.1.3 高斯-克吕格投影(Gauss Kluge Projection)

[一文了解地图投影 - 知乎 \(zhihu.com\)](#)

2.1.4 优缺点总结：

地球拥有唯一真实的表面，包括方向、距离、形状和面积这些属性。圆柱投影在真实展现整个地球方面较为适用，尤其是与适合展示大陆的圆锥投影相比。同时，墨卡托投影也是流行的导航选择，因为直线是恒向线。当希望展示正确的区域时，横轴墨卡托是大比例尺制图的理想选择。

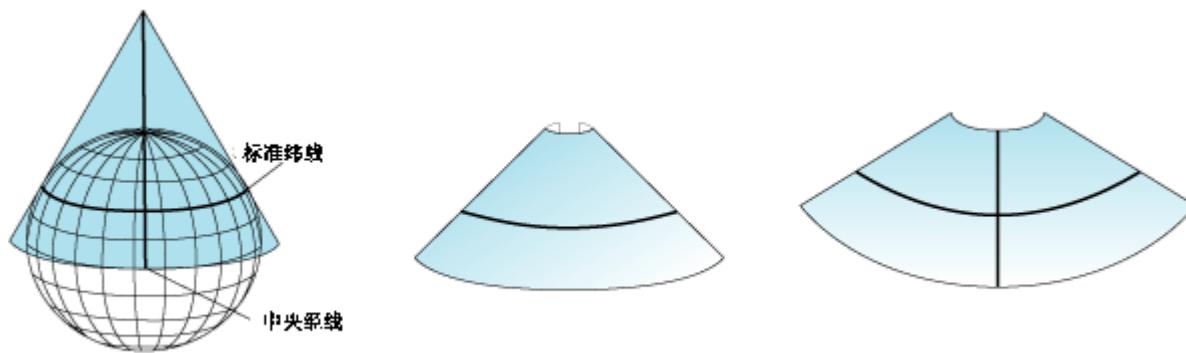
2.2 圆锥投影(Conic Projections)



圆锥投影

当你在地球上放置一个圆锥体并展开它时，会产生圆锥投影。典型的圆锥投影类型如，阿尔伯斯投影和兰伯特投影，这两种地图投影都非常适合绘制东西向较长的区域地图，因为沿共同平行线的失真是恒定的。对于圆锥地图投影，图像底部的距离失真最大，因此圆锥投影不适用于投射整个地球球体。

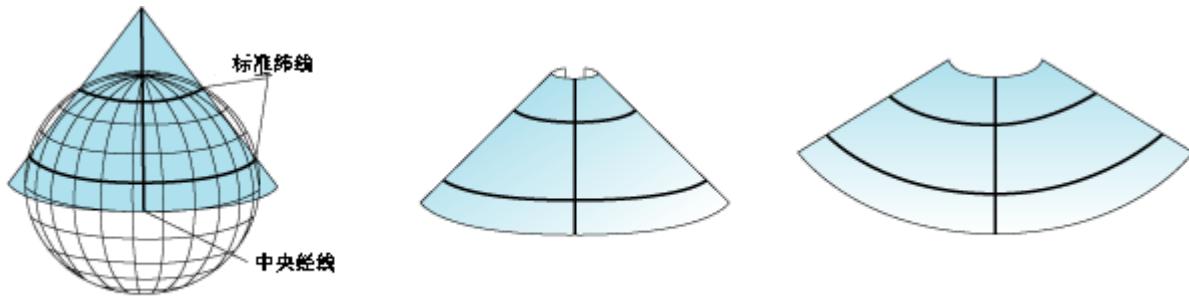
2.2.1 相切圆锥投影



圆锥投影(相切)

圆锥被置于地球上。圆锥和地球沿一条纬线相交。该纬线就是标准纬线。沿中央子午线对面的经线切开圆锥，并将其展平为平面。

2.2.2 相割圆锥投影

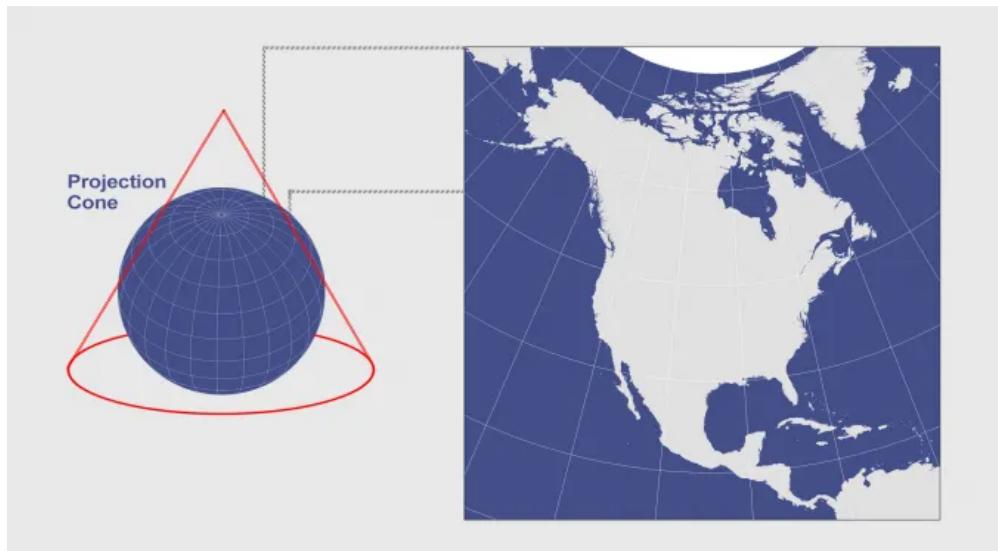


圆锥投影(相割)

圆锥被置于地球上，但穿过曲面。圆锥和地球沿两条纬线相交。这两条纬线就是标准纬线。沿中央子午线对面的经线切开圆锥，并将其展平为平面。

2.2.2.1 阿尔伯斯投影(Albers Equal Area Projection)

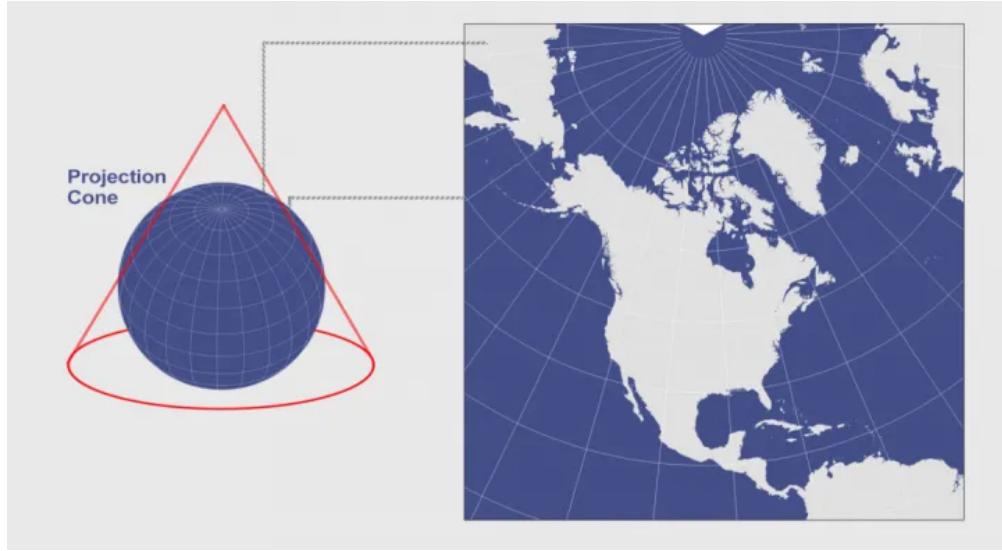
阿尔伯斯等面积圆锥投影通常用于显示需要等面积表示的大国。例如，USGS将这种圆锥投影用于显示美国本土地图。HC Albers于1805年引入这种地图投影，使用两条标准纬线（分割线），将地图中的所有区域按比例投影到地球上的所有区域。阿尔伯斯投影的地图距离和比例仅在两个标准纬线上都是正确的，且方向相当准确，投影面积与实地相等。



Albers Projection

2.2.2.2 兰伯特投影(Lambert Conformal Projection)

兰伯特等角圆锥投影是Lambert于1772年创造的众多作品之一，至今仍在广泛使用。它看起来像阿尔伯斯等面积圆锥投影，但标线间距不同，它是保形而非等面积的，在两个标准平行线（通常为33°和45°）处使用可展开的圆锥曲面割线，以最大限度地减少失真。我国1:100万地形图采用兰伯特投影。

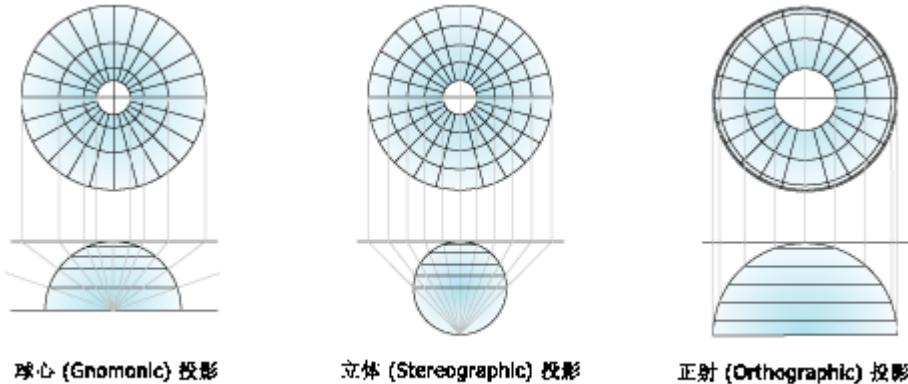


Lambert Projection

2.2.3 优缺点总结

与圆柱地图不同，圆锥地图投影通常不适合绘制全球级的大尺度区域，更适合绘制大陆和区域地图。

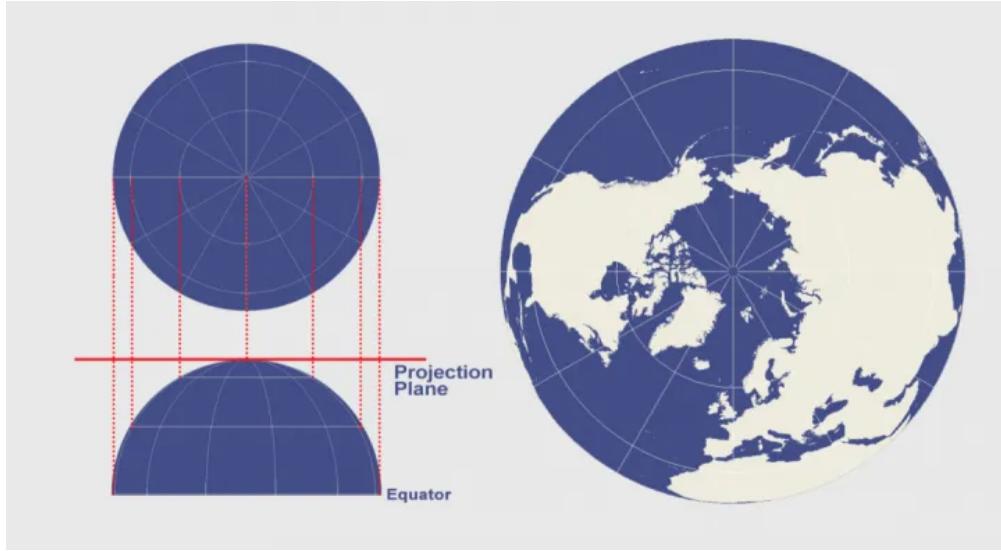
2.3 方位投影(Azimuthal Projections)



方位投影或平面投影可具有不同的透视线。球心投影的透视线位于地球的中心。与接触点相对的地球另一侧用来进行立体投影。正射投影的透视线位于无限远处。

2.3.1 正射投影(Orthographic Projection)

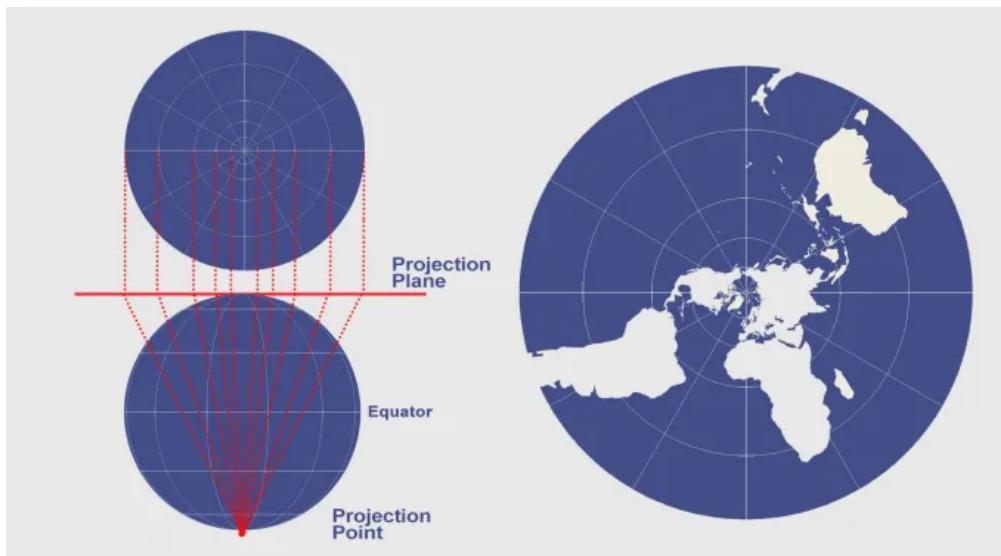
在这种投影下，可以想象你拥有上帝视角——当你在太空中数千英里，正视地球的样子：正方位投影以所有光线平行向前的方式，将地球投影到一个平面上，投影点为无穷远，所有投影线都与投影平面正交。由于直视的角度，正视投影会扭曲边缘附近的形状和区域，从投射点看，正投影方向是真实的，但既不等角也不等面积。正射投影制作的地图常被用于世界地图的插图中，以展示南北极样貌。



Orthographic Projection

2.3.2 立体投影(Stereographic Conformal Projection)

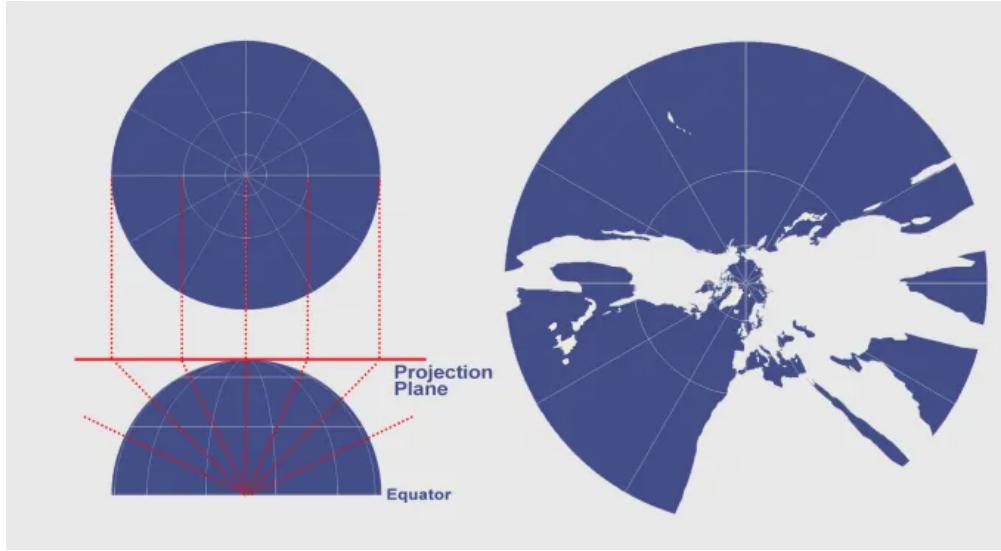
理解立体投影的关键是理解它向地球投射光源的方式和方向：它从地球表面将光线投射地球球体到平面。立体投影是等角投影，但随着远离投影中心点，区域和距离的畸变会增加，从中心点开始的方向是正确的，每条直线代表一个大圆，投影既不等面积也不等距。它通常被用于极坐标和导航地图，因为可以保留形状（保形），尽管比例尺在透视上被大大扩展，也经常被用于绘制包括北极和南极在内的大洲或海洋地图。



Stereographic Projection

2.3.3 地心投影(Gnomonic Projection)

与地表投影不同，地心投影顾名思义光源位于球体中心，这意味着它一次只能呈现不到一个半球，也叫做日晷投影，因为投影方法和日晷的原理近似。地心投影下的地图包括经线在内的每个大圆（测地线）都映射到一条直线，这使得地心投影最容易绘制出最短路线，这就是为什么航海家使用日晷投影和墨卡托投影来寻找两点之间的最短路线。1888年到1889年间，美国的海道部曾制就五种海图，都是用日晷投影来作基础的。此外，地震学家使用这种地图投影，因为地震波经常沿着大圆圈传播。



Gnomonic Projection

2.3.4 优缺点总结

由于方位投影的中心是没有变形的点，从中心到任何点的方位角没有变形，方位投影适合于绘制圆形区域的地图和半球图。

-
- [1]: [一文了解地图投影 - 知乎 \(zhihu.com\)](#)
 - [2]: [投影类型—ArcMap | 文档 \(arcgis.com\)](#)
 - [3]: [NCL Graphics: map_projections \(ucar.edu\)](#)
 - [4]: [支持的地图投影—ArcGIS Pro | 文档](#)
 - [5]: [Map_projection - Wikipedia](#)