

数字展宽地球同步卫星 扫描云图的定位

李凤昌

(空军气象学院)

提 要

本文将地球作为旋转椭球体，推导出地球同步卫星扫描云图的定位公式，消除了以往把地球近似为球体所带来的定位误差，提高了精度。同时还介绍了在计算机云图处理中地球同步卫星扫描云图加经纬度网格及地图的方法。

一、引言

卫星云图的定位对卫星云图的应用具有非常重要的意义。

随着计算机技术的发展以及气象卫星的不断改进，采用数字展宽传输技术，使云图分辨率和图象清晰度大大提高。云图处理和应用的内容也越来越丰富。在云图定位方面，除了需要采用适合计算机图象的方法外，对定位精度也提出了更高的要求。原来的将地球表面当成球面导出来的定位公式，其误差已显得不能接受。比如，一幅象素数为 2291×2291 的全圆盘云图，因把地球表面当成球面所带来的误差最大可达4个象素。本文将导出新的定位公式，并简要介绍我们在数字展宽卫星扫描云图的计算机处理中所采用的定位方法。

二、定位公式

设地球椭圆体长半轴为 a ，短半轴为 b ，卫星高度 h ，星下点经度为 λ_s ，纬度为 φ_s 。建立坐标系使原点处于地心， z 轴过北极， x 轴过经度为 λ_s 的经线，如图1所示。

过星下点 O' 作一投影平面 π ，并垂直于地心到卫星的连线 OS ，地球表面上一点 P

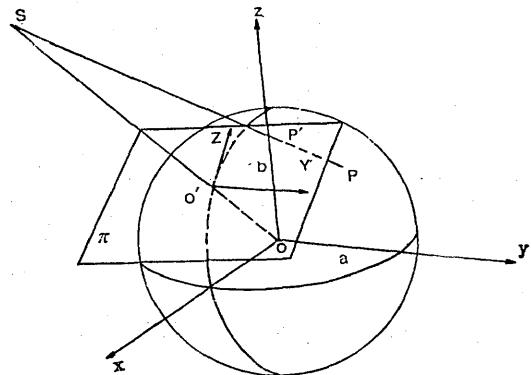


图 1

到卫星 S 的连线与平面 π 的交点 P' 称为 P 在平面 π 上的投影。在平面 π 上建立直角坐标系 $O'YZ$ ，原点在 O' ， Y 轴与 y 轴平行， Z 轴指向 O' 处之北方。设 P 点的经度为 λ_p ，纬度为 φ_p ， P' 在 $O'YZ$ 坐标系中的坐标为 (Y, Z) ，下面先导出 Y, Z 与 λ_p, φ_p 之间的关系。

这一工作分两步进行。第一步，由 P 点的地理坐标 (λ_p, φ_p) 计算出 P 点的直角坐标 (x_p, y_p, z_p) 。

由地理纬度 φ_p 可求得相应的地心纬度 φ'_p

$$\varphi'_p = \arctan\left(\frac{b^2}{a^2} \tan \varphi_p\right) \quad (1)$$

记 P 点的矢径为 r_p , 考虑到地球椭圆体为旋转椭圆体, 可求得

$$r_p = ab \cdot (b^2 \cos^2 \varphi'_p + a^2 \sin^2 \varphi'_p)^{-\frac{1}{2}} \quad (2)$$

由球坐标与直角坐标的关系可得

$$\begin{aligned} x_p &= r_p \cos \varphi'_p \cos (\lambda_p - \lambda_s) \\ y_p &= r_p \cos \varphi'_p \sin (\lambda_p - \lambda_s) \\ z_p &= r_p \sin \varphi'_p \end{aligned} \quad (3)$$

由 (1) — (3) 式, 便可换算出对应的直角坐标。

第二步, 由 x_p , y_p , z_p 计算 Y , Z 。

设地理纬度 φ_s 对应的地心纬度为 φ'_s , 则

$$\varphi'_s = \arctan\left(\frac{b^2}{a^2} \tan \varphi_s\right)$$

将坐标系 xyz 绕 y 轴旋转一角度 φ'_s , 得一新坐标系 $x'y'z'$ (这时 x' 轴过 S 点)。 P 点在 $x'y'z'$ 系中的坐标 x'_p , y'_p , z'_p 与原坐标有如下关系。

$$x'_p = x_p \cos \varphi'_s + z_p \sin \varphi'_s$$

$$y'_p = y_p$$

$$z'_p = -x_p \sin \varphi'_s + z_p \cos \varphi'_s$$

设星下点的矢径为 r_s , 有

$$r_s = ab \cdot (b^2 \cos^2 \varphi'_s + a^2 \sin^2 \varphi'_s)^{-\frac{1}{2}}$$

则平面 π 在 $x'y'z'$ 坐标系中的方程可写为

$$x' = r_s \quad (4)$$

过 P 、 S 点的直线方程为

$$\begin{aligned} [x' - (r_s + h)] / [x'_p - (r_s + h)] \\ = y'/y_p = z'/z_p \end{aligned} \quad (5)$$

(4)、(5) 式联立, 解得

$$\begin{cases} y' = y'_p \frac{h}{x'_p - (r_s + h)} \\ z' = z'_p \frac{h}{x'_p - (r_s + h)} \end{cases} \quad (6)$$

注意到 $x'y'z'$ 坐标系中, $y'z'$ 平面与 YZ 平面平行, (6) 式中的 y' 、 z' 即为 P' 在 YZ 平面上的坐标 Y , Z , 即

$$Y = y'_p \frac{h}{x'_p - (r_s + h)}$$

$$Z = z'_p \frac{h}{x'_p - (r_s + h)}$$

由于扫描辐射计在扫描过程中是等角间隔对地球抽样的, 而图象终端上的象素是等距离排放的, 因此, P 点在平面 π 上的投影 P' 还不是 P 点在云图上的象点, 也就是说, P' 的坐标 (Y, Z) 还不是 P 点对应到云图上的位置。下面求 P 点对应云图上的位置。

取云图平面仍为上述平面 π , 坐标系也仍取 $O'YZ$ 。设 P 点对应到云图上的位置坐标为 (Y_1, Z_1) 。

由于卫星上的扫描辐射计是逐行进行旋转扫描的, 因此在投影平面 π 上扫描线呈平行排列的直线。假定扫描线与 Y 轴平行, 则在扫描过程中扫描线的步进方向与 Z 轴平行。若扫描计倾角为 η_z , 在扫到 P' 所在行时, 则有 (见图 2、3)

$$Z = h \tan \eta_z$$

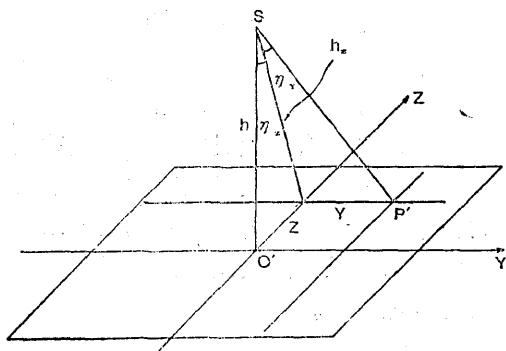


图 2

由于在图象终端上图象的行是等距离排列的, 故 Z_1 与 η_z 成正比, 即

$$Z_1 = k_z \arctan \frac{Z}{h}$$

其中, $k_z = (\Delta \eta_z)^{-1}$, 为扫描步进角的倒数。

由于在每一扫描行内采样都以相等的角间隔进行，故每一扫描线上采样点的间距是不均匀的，并且，不同扫描线上对应间隔也不相同。参照图2、4，在扫描 P' 所在的行时，若扫描到 P' 时扫描计的转角为 η_y ，则有

$$Y = \sqrt{Z^2 + h^2} \operatorname{tg} \eta_y$$

由于在图象终端上每行中的象素都是等距离

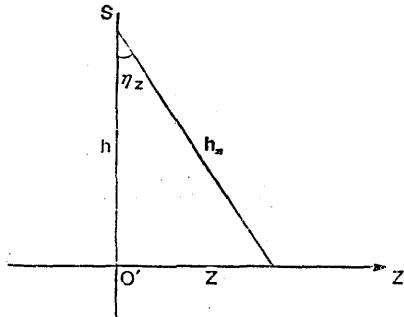


图 3

排列的，故 Y_1 与 η_y 成正比。有

$$Y_1 = \frac{1}{\Delta \eta_y} \operatorname{arctg} \frac{Y}{\sqrt{Z^2 + h^2}}$$

其中 $\Delta \eta_y$ 为扫描计采样间隔角。

(Y_1, Z_1) 即是地球上地理坐标为 (λ_p, φ_p) 的点 P 对应到云图上的位置。

在上面由 (Y, Z) 求 (Y_1, Z_1) 的过程中，假定了在投影平面 π 上扫描线与 Y 轴平行。如果由于卫星姿态的改变使扫描线与 Y 轴有一夹角 β ，则可先将平面 π 上的坐标系 YZ 旋转 β 角，得新坐标系 $Y'Z'$ ，使扫描线与 Y' 轴平行，这时 P' 在新坐标系中的坐标 (Y', Z') 为

$$Y' = Y \cos \beta + Z \sin \beta$$

$$Z' = -Y \sin \beta + Z \cos \beta$$

然后计算 Y_1, Z_1 ：

$$Y_1 = \frac{1}{\Delta \eta_y} \operatorname{arctg} \frac{Y'}{\sqrt{Z'^2 + h^2}}$$

$$Z_1 = \frac{1}{\Delta \eta_z} \operatorname{arctg} \frac{Z'}{h}$$

上面推导中所用的云图坐标与云图上的

行列号坐标是有所不同的，但稍经转换便可转换到云图上的行列号坐标。设星下点在云图上的行、列号分别是 l_s 和 c_s ，则前述 P 点对应到云图上的行号 l_p 和列号 c_p 分别为

$$l_p = l_s - Z_1$$

$$c_p = c_s + Y_1$$

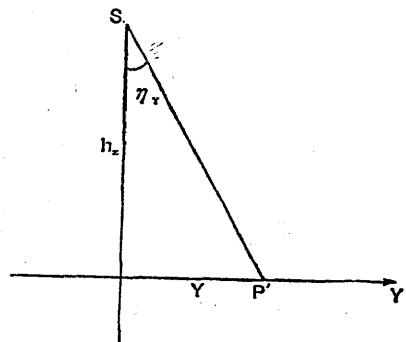


图 4

三、叠加地图及经纬度

将地图上所需要的曲线用数字化仪适当取点输入到计算机中，计算出各点的经纬度，作为资料存盘，需要时，用上节导出的公式将各点对应到云图上，采用适当的方法进行插值，便在云图上迭加上地图。

经纬度叠加是这样完成的：经线方程 $\lambda = \text{常数}$ ，纬线方程 $\varphi = \text{常数}$ 。先令 $\lambda = \text{常数}$ ， φ 变化，得到一系列的点，将这些点对应到云图上，并进行插值，在云图上便迭加上一条经线。让 λ 等于不同的常数，便得到一系列的经线。用类似的方法，可得到一系列的纬线。

四、结束语

本文导出的定位公式，是将地球作为旋转椭圆体看待的，消除了把地球作为球体对待时带来的误差，使定位更精确。

在公式推导中，星下点作为地球表面上一般点来处理，并对卫星姿态改变时引起的云图改变也作了考虑。因此导出的公式适用

(下转第52页)

(上接第55页)

于卫星处于任意位置、任意姿态时的云图的定位，从而解决了卫星漂移及姿态变化给云图定位带来的问题。

本文所述方法已在实际系统中应用，经过实践检验，得到了预期效果。

参 考 文 献

- (1) H.A.乌尔马耶夫, 数学制图学, 测绘出版社, 1956年。
- (2) 中科院大气所, 卫星云图的接收和分析, 科学出版社, 1971年。