

# 多类气象探测资料的坐标变换

陈宏尧 丁峰

(中国气象科学研究院, 北京 100081)

## 提 要

介绍了京津冀中尺度气象试验基地中多类气象探测资料的坐标变换方法, 并讨论了坐标变换运算中的误差。这些资料包括雷达、卫星、常规、自动气象站、闪电定位和遥感探测资料。

**关键词:** 多类气象资料 坐标变换方法 误差分析

## 引 言

综合分析多类气象探测资料比单独分析一类资料, 能为气象预报获取更多的信息。因此, 把雷达、卫星、常规、自动气象站、闪电定位和遥感等探测资料, 在保证精度的前提下, 从各自的坐标系变换为统一的坐标系, 其工作量虽大, 但很有意义。

图1给出了京津冀中尺度气象试验基地中雷达、NOAA卫星、GMS卫星、常规、自动气象站和闪电定位探测资料的坐标变换示意图。考虑到气象部门预报和科研工作的习惯, 选择了双标准纬线 Lambert 投影上的直角坐标系作为统一的坐标系。将基地内的探测资料从各自的坐标系中变换到此坐标系, 这样便于以后的综合分析和在计算机上进行各类资料的单一图象显示和叠加显示。

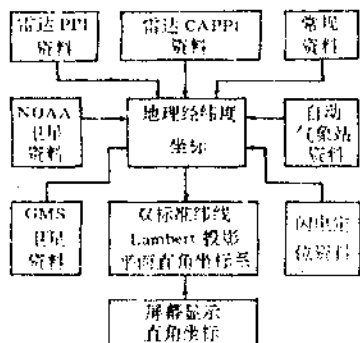


图1 各种坐标系变换示意图

## 1 地理坐标与双标准纬线 Lambert 投影直角坐标间的相互变换

从图1中可以看出, 各类探测资料的坐标变换, 最终都归结到地理坐标与双标准纬线 Lambert 投影直角坐标间的相互变换。

如图2所示, 以北极的投影点 O 为直角坐标系的原点, 选取经度为  $\lambda_0$  的经线(也叫中央经线)的投影线为 X 轴, 建立双标准纬线 Lambert 投影直角坐标系, 则地理坐标  $(\lambda, \varphi)$  与直角坐标  $(x, y)$  间的关系如下<sup>[1]</sup>:

$$\rho = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (1)$$

$$U^* = K/\rho \quad (2)$$

$$\lambda = \lambda_0 + \frac{1}{\alpha} \cdot \sin^{-1}(y/\rho) \quad (3)$$

$$U = \sqrt{\frac{1 + \sin\varphi}{1 - \sin\varphi} \left( \frac{1 - e \cdot \sin\varphi}{1 + e \cdot \sin\varphi} \right)^{1/2}} \quad (4)$$

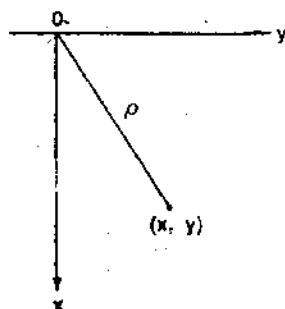


图2 双标准纬线 Lambert 投影直角坐标系示意图

式中的  $e, \alpha, K$  为常数。 $e$  是地球第一偏心率, 约为 0.08;  $\alpha, K$  由两条标准纬线的纬度来确定:

$$\alpha = \frac{\lg r_2 - \lg r_1}{\lg U_1 - \lg U_2} \quad (5)$$

$$K = \frac{r_1 U_1^\alpha}{\alpha} = \frac{r_2 U_2^\alpha}{\alpha} \quad (6)$$

$r_1$  和  $r_2$  是两条标准纬线所在纬圈的半径。

某点  $(x, y)$  对应的经度  $\lambda$  可由式 (3) 算出, 纬度  $\varphi$  要用式 (4) 求解才能得到。用式 (4) 直接求解  $\varphi$  比较复杂, 可以根据具体情况进行简化。

对于较小的范围, 如雷达资料、地面常规资料、自动气象站资料和闪电定位资料, 都只有数百公里的范围, 所选的两条标准纬线的纬度相差不大, 则可以把地球由椭球近似看作圆球,  $e \approx 0$ , 公式 (4) 简化后变成:

$$\varphi = \sin^{-1} \left( \frac{U^2 - 1}{U^2 + 1} \right) \quad (7)$$

由该式计算纬度  $\varphi$  较简单。

对于较大的范围, 如卫星资料, 高空常规资料, 范围有几千公里, 是以  $30^\circ\text{N}$  和  $60^\circ\text{N}$  为两条标准纬线。若还用式 (7) 计算纬度, 则误差较大, 且得到的纬度值都偏小。若加进一个修正量, 改用下面的简化公式:

$$\varphi = \sin^{-1} \left( \frac{U^2 - 1}{U^2 + 1} + 0.0023 \right) \quad (8)$$

纬度误差就小得多。在  $50.5 - 25^\circ\text{N}$  范围内, 用式 (8) 计算  $\varphi$  可使纬度误差由按圆球近似时的约  $0.2^\circ$  降到  $0.02^\circ$  以内<sup>[2]</sup>, 满足精度要求。

## 2 多类资料的坐标变换

### 2.1 雷达资料

随雷达工作方式的不同, 其探测资料有 CAPPI 和 PPI 两种。CAPPI 资料是以极坐标  $(r, \theta)$  的形式给出了距地面一定高度的回波强度等量,  $r$  是矢距,  $\theta$  是极角 (正北方向为零, 顺时针方向增大)。对某高度的 CAPPI 资料, 该高度值与地球半径相比很小, 因此可近似看作在地球表面上的资料。如图 3 所示, 把地球视为圆球, 半径为  $R$ ,  $R$  是雷达站位置, 经纬度为  $(\lambda_R, \varphi_R)$ , 任一点  $A(r, \theta)$  的经纬度为

$(\lambda, \varphi)$ ,  $N$  是北极点, 则在球面三角形 NRA 中有:

$$\varphi = \sin^{-1} (\sin \varphi_R \cos n + \cos \varphi_R \sin n \cos \theta) \quad (9)$$

$$\lambda = \lambda_R + \sin^{-1} \left( \frac{\sin \theta \sin n}{\cos \varphi} \right) \quad (10)$$

其中,  $n = r/R$ 。

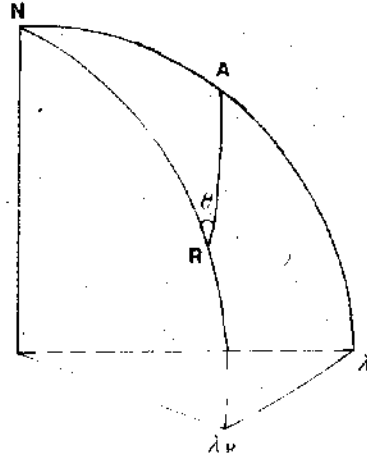


图3 CAPPI 资料处理示意图

雷达的 PPI 资料也是以极坐标形式给出的。对于低仰角 (仰角低于  $2^\circ$ ) 的 PPI 资料可按同 CAPPI 资料相同的方法近似计算, 精度满足要求。由上述的  $(r, \theta)$  与  $(\lambda, \varphi)$  间的关系, 以及由式 (1)、(2)、(3)、(7) 建立的  $(x, y)$  与  $(\lambda, \varphi)$  间的关系, 就可以实现  $(r, \theta)$  与  $(x, y)$  间的坐标变换。

### 2.2 常规探测资料、自动气象站资料和 NOAA 卫星资料

这三类资料都以地理经纬度方式给出数据位置的。对于高空的常规探测资料和 NOAA 卫星资料, 用由式 (1)、(2)、(3)、(8) 建立的  $(x, y)$  与  $(\lambda, \varphi)$  间的关系实现其坐标变换。对于地面的常规探测资料和自动气象站资料, 用由式 (1)、(2)、(3)、(7) 建立的  $(x, y)$  与  $(\lambda, \varphi)$  间的关系实现其坐标变换。

### 2.3 GMS 卫星资料

GMS 卫星展宽数字化云图资料是在 VISSR 帧平面坐标系中, 以某扫描行  $j$ 、扫描列  $i$  对应的红外通道的亮度温度和可见光通道的反照率形式给出的。这类资料的坐标变

换比较复杂,涉及到3个坐标系间的关系,而且资料量也很大。为了既保证变换精度又节省计算时间,基地中采用了日本气象卫星中心提出的一组简化方程来实现 $(j, i)$ 与 $(\lambda, \varphi)$ 间的坐标变换<sup>[3]</sup>。

图4中给出了 GMS 卫星探测中的3个坐标系:卫星坐标系、VISSR 帧平面坐标系和地球坐标系。从地球坐标系到卫星坐标系间的转换矩阵 $[M]$ 由下式定义:

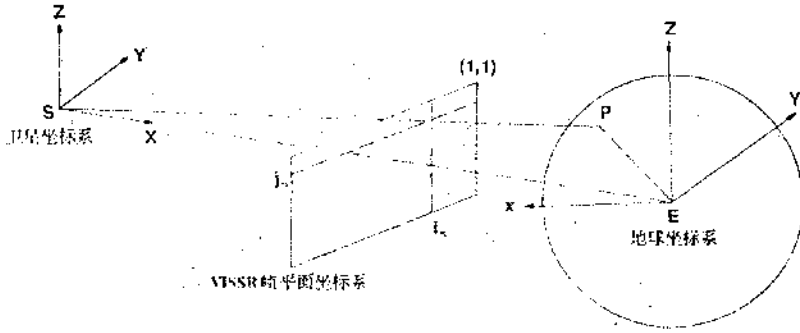


图4 GMS 卫星探测中的三个坐标系

$$[M] \times V_{ep} = V_{ep} - V_{ee} \quad (11)$$

$V_{ep}$ 、 $V_{sp}$ 和 $V_{ee}$ 为3个向量:

$$V_{ep} = \begin{bmatrix} x_e \\ y_e \\ z_e \end{bmatrix} = R_e \begin{bmatrix} -\cos q \cos(\lambda_0 - \lambda) \\ \cos q \sin(\lambda_0 - \lambda) \\ \sin q \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$V_{sp} = \begin{bmatrix} X_p \\ Y_p \\ Z_p \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} \cos(q(J_0 - j_s)) \cos(p(I_0 - i_s)) \\ \cos(q(J_0 - j_s)) \sin(p(I_0 - i_s)) \\ \sin(q(J_0 - j_s)) \end{bmatrix} \quad (13)$$

$$V_{ee} = \begin{bmatrix} X_s \\ Y_s \\ Z_s \end{bmatrix} = R_{ee} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (14)$$

其中:

$R_{ee}$ :卫星与地心的距离; $R_e$ :地球的平均半径; $R$ :卫星与要进行坐标变换的点P的距离; $q$ :步进角; $p$ :采样角; $(J_0, I_0)$ :星下点对应的扫描行、列值; $\lambda_0$ :140°E; $(j_s, i_s)$ :P点对应的扫描行、列值; $(\lambda, \varphi)$ :P点的地理经、纬度。

从卫星探测资料的参数文件中,可以得到以5°为经纬度间隔的各条经纬线交点的 $(j_s, i_s)$ 值。相邻的这样4个交点组成了一个

块区域,利用这4个点的经纬度和 $(j_s, i_s)$ 值可以算出这一小块区域对应的转换矩阵 $[M]$ ,若要进行坐标变换的点P $(\lambda, \varphi)$ 在该小块区域内,就可由 $(\lambda, \varphi)$ 和 $[M]$ 得到P点的 $(j_s, i_s)$ 值。

$$\begin{bmatrix} X_p \\ Y_p \\ Z_p \end{bmatrix} = [M] \times V_{ep} \quad (15)$$

由上式可计算出 $X_p$ 、 $Y_p$ 和 $Z_p$ ,再根据式(11)得到以下方程组:

$$Y_p = R \cos(q(J_0 - j_s)) \sin(p(I_0 - i_s)) \quad (16)$$

$$Z_p = R \sin(q(J_0 - j_s)) \quad (17)$$

$$\text{其中: } R' = \sqrt{(X_p + R_e)^2 + Y_p^2 + Z_p^2} \quad (18)$$

解此方程组得到:

$$j_s = J_0 - \frac{1}{q} \cdot \sin^{-1}(Z_p/R') \quad (19)$$

$$i_s = I_0 - \frac{1}{p} \cdot \sin^{-1}[Y_p / (R' \cos(\sin^{-1}(Z_p/R')))] \quad (20)$$

这种简化计算是基于以下3点假设的:

- (1) 卫星高度在 VISSR 观测期间保持不变。
- (2) 在 VISSR 观测期间,卫星自旋率保持不变。
- (3) 在 VISSR 帧平面坐标中定义的扫描

行、列值与在卫星坐标中所表示的扫描行、列值相同。

这些假设与实际情况是有出入的,但由此造成的误差不大。

附表 由经纬度计算的扫描行列值及其绝对误差

序号	纬度 (°N)	经度 (°E)	计算的行列值		标准行列值		行列值误差	
			$j_s$	$i_s$	$j_n$	$i_n$	$j_e$	$i_e$
1	50	105	485.931	724.923	486	725	0.069	0.077
2	50	110	479.927	779.021	480	779	0.073	-0.021
3	50	115	474.912	836.153	475	836	0.088	-0.153
4	50	120	470.197	896.977	470	897	-0.197	-0.023
5	50	125	466.958	959.806	467	960	0.042	0.194
6	45	100	553.719	624.663	554	625	0.281	0.337
7	45	105	547.213	679.316	547	679	-0.213	-0.316
8	45	110	540.964	738.904	541	739	0.036	0.096
9	45	115	535.958	801.780	536	802	0.042	0.220
10	45	120	530.954	869.112	531	869	0.046	-0.112
11	45	125	527.230	939.201	527	939	-0.230	-0.201
12	45	130	523.719	1011.989	524	1012	0.281	0.011
13	40	100	623.268	577.313	623	577	-0.268	-0.313
14	40	105	616.727	636.910	617	637	0.273	0.090
15	40	110	610.024	700.801	610	701	-0.024	0.199
16	40	115	605.005	770.167	605	770	-0.005	-0.167
17	40	120	599.988	843.969	600	844	0.012	0.031
18	40	125	595.971	920.046	596	920	0.029	-0.046
19	40	130	591.988	999.094	592	999	0.012	-0.094
20	35	100	700.002	535.004	700	535	-0.002	-0.004
21	35	105	692.983	597.987	693	598	0.017	0.013
22	35	110	685.998	667.000	687	667	0.002	0.000
23	35	115	681.989	741.993	682	742	0.011	0.007
24	35	120	677.005	821.002	677	821	-0.005	-0.002
25	35	125	672.994	902.998	673	903	0.006	0.002
26	35	130	668.988	987.998	669	988	0.012	0.002
27	30	100	783.116	497.053	783	497	-0.116	-0.053
28	30	105	777.083	563.891	777	564	-0.083	0.109
29	30	110	771.075	636.993	771	637	-0.075	0.007
30	30	115	765.805	716.081	766	716	0.195	-0.081
31	30	120	761.041	799.906	761	800	-0.041	0.094
32	30	125	757.016	888.210	757	888	-0.016	-0.210
33	30	130	753.012	978.735	753	979	-0.012	0.265

附表中给出了对于1990年5月30日的一次卫星资料,用这种算法求得的33个点的  $j_s$ 、 $i_s$  值及其绝对误差。这33个点是在京津冀基地的大尺度客观分析范围内,所有以5°为间隔的经纬线的交点。误差计算时是以从卫星资料的参数文件中获得的  $j_n$ 、 $i_n$  值为标准。这33个点  $j_s$  值的平均绝对误差为0.085,  $i_s$  值的平均绝对误差为0.107。

用5月29日和31日同一时次的卫星资料也做了类似的计算,其结果  $j_s$  值的平均绝对误差分别为0.099和0.094;  $i_s$  值的平均绝对

误差分别为0.079和0.124。可见,用这种简化算法得到的  $j_s$  和  $i_s$  值的绝对误差都在0.1左右,精度满足要求。再根据式(1)、(2)、(3)、(8)建立的  $(x, y)$  与  $(\lambda, \varphi)$  间的关系就可以实现  $(j_s, i_s)$  与  $(x, y)$  之间的坐标变换。

#### 2.4 闪电定位资料

闪电定位资料是在图5中的地球切平面 MNHI 平面中以直角坐标  $(X_F, Y_F)$  形式给出,切点就是京津冀基地的北京分中心,经纬度为  $(\lambda_B, \varphi_B)$ , 则某点的直角坐标  $(X_F, Y_F)$  与其经纬度  $(\lambda, \varphi)$  之间的关系如下<sup>[4]</sup>:

$$X_F = \frac{2R_e \cos \varphi \sin(\lambda - \lambda_B)}{1 + \sin \varphi_B \sin \varphi + \cos \varphi_B \cos \varphi \cos(\lambda - \lambda_B)} \quad (21)$$

$$Y_F = \frac{2R_e [\cos \varphi_B \sin \varphi - \sin \varphi_B \cos \varphi \cos(\lambda - \lambda_B)]}{1 + \sin \varphi_B \sin \varphi + \cos \varphi_B \cos \varphi \cos(\lambda - \lambda_B)} \quad (22)$$

其中  $R_e$  为地球半径。

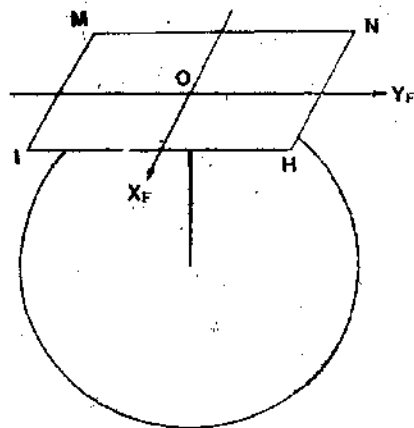


图5 闪电定位资料示意图

再由式(1)、(2)、(3)、(7)建立的  $(x, y)$  和  $(\lambda, \varphi)$  间的关系, 可以实现  $(X_F, Y_F)$  与  $(x, y)$  之间的坐标变换。

最后说明一点, 基地的其他遥感资料, 如 UHF 风廓线雷达资料和微波辐射仪资料, 给出的是单点  $(\lambda, \varphi)$  的垂直风廓线和水汽廓线等, 这些资料同样可以进行坐标变换。各类资料进行坐标变换之后, 非常便于在计算机上

完成叠加显示(图6是 GMS 卫星资料与常规探测资料叠加图), 也为天气预报和其他科研工作创造了极方便的有利条件。

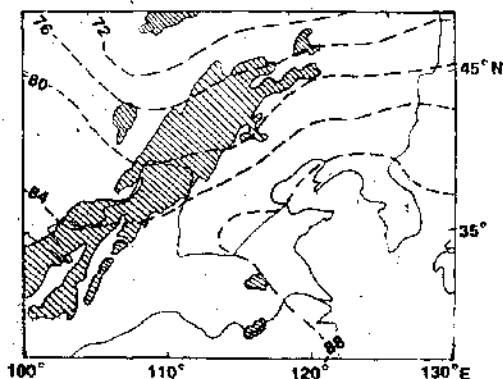


图6 1990年8月1日08:30的 GMS 红外云图和 08:00的500hPa 高度场叠加图  
斜线区为红外云图中亮度温度低于  $-20^{\circ}\text{C}$  的区域, 虚线为等高线

#### 参考文献

- 1 胡毓钜, 龚剑文, 黄伟. 地图投影. 北京: 测绘出版社, 1981.
- 2 丁峰, 陈宏光, 周秀骥. 用卫星和雷达资料进行大范围降水估计. 应用气象学报, 第3卷增刊, 74--81.
- 3 The simplified mapping equation of VISSR image data from the Geostationary Meteorological Satellite (GMS). Meteorological Satellite Center (Japan), Technical Note, No. 1, March, 1979.
- 4 曾庆存. 数值天气预报的数学物理基础. 北京: 科学出版社, 第一卷, 1979.

## The Sounding Data Transformation from Different Coordinates Systems

Chen Hongyao      Ding Feng

(Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081)

#### Abstract

It was introduced that the methods of converting all kinds of data from different coordinates systems. Also the error of data transformation was discussed. These kinds of data are satellite data, radar data, conventional sounding data, automatic meteorological station data, flash detection data and remote sensing data in Beijing-Tianjin-Hebei Experimental Base of Mesoscale Meteorology.

**Key Words:** different kinds meteorological datum    methods of covering coordinates systems  
error analysis