

关于 NOAA AVHRR 图象重采样 及投影方法的研究

王茂新 沙奕卓 于 莉

(中国气象科学研究院 北京 100081) (TRIDRNT System Pte. ltd. 北京 100080)

摘 要 本文论述了对极轨气象卫星 NOAA AVHRR 图象进行重采样的必要性,研究了重采样与投影的方法,并利用 ER Mapper 图象处理系统对重采样前后及经过投影处理的彩色图象进行了对比分析。

关键词 NOAA, 图象重采样, 投影方法

1 引 言

为了校正卫星原始图象的几何畸变,必须对图象数据进行重采样。各国资源卫星地面接收站向用户提供的 CCT 资料,不仅进行了辐射度校正,也通过对数据重采样进行了不同等级的几何校正。除了有特殊要求需再予以精校正外,一般用户直接使用 CCT 已能满足需求,不必再考虑数据重采样之类的问题。但 NOAA AVHRR(以下简称 NOAA)不同,自行接收的均是原始裸数据(Raw data),况且,NOAA 的视场 FOV 达 $\pm 61.6^\circ$,有效视场也达 $\pm 55^\circ$,约为 LANDSAT 的 10 倍,扫描宽度 3000km 左右,由于地球曲率等的影响,在星下轨迹两侧的瞬时视场 IFOV 逐渐增大,空间分辨率相应降低,偏离星下轨迹较远处几何畸变严重。

图 1(图版 I)为 NOAA 1996 年 3 月 3 日约 14 时的升轨原始图象。卫星由南向北略偏西方向飞行,并自东向西略偏南方向扫描。从图中可以看出图象的东西两侧,如辽东半岛、山东半岛,青海湖及其以西地区,分辨率降低很多,东西向压缩严重,即使位于星下轨迹附近的河套地区,由于卫星在飞行中轨

迹向西偏移,图象也有很大程度的扭曲。为了从 NOAA 图象上准确量测方位、面积、距离,或者叠加地理信息等,必须通过适当的重采样和投影方法进行几何校正。

2 重采样方法

重采样的通用公式为:

$$f(x, y) = \sum h(u' - u, v - v') \times g(u', v') \quad (1)$$

式中, g 为输入原始图象强度, f 为重采样后的输出图象强度, h 为权重函数, (x, y) 为输出图象空间的网格点坐标, (u, v) 为输入图象空间的与 (x, y) 相对应的坐标, (u', v') 为输入图象的网格点坐标(图 2)。直接对二维图象进行曲面插值较为复杂,通常是分别沿着两个坐标轴分成两次进行重采样,而且权重函数也简化成一维的形式^[1]。

2.1 三次卷积法

图 3 中 C. C. 为三次卷积(Cubic Convolution)法

* “八五”攻关增补专题, 85—006—01—17 资助项目。

收稿日期: 96 年 10 月 15 日。

$$h(x) = \begin{cases} 1 - 2|x|^2 + |x|^4 & |x| \leq 1 \\ 4 - 8|x| + 5|x|^2 - |x|^3 & 1 < |x| \leq 2 \\ 0 & 2 < |x| \end{cases} \quad (2)$$

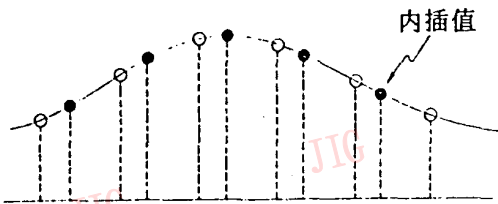
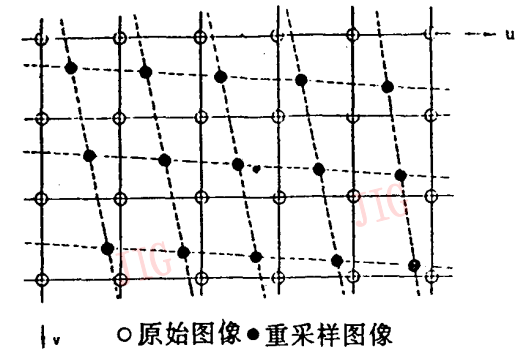


图2 重采样示意图

Fig. 2 Resampling concept

说明在 x 方向要重采样一个象元, 这要涉及到 4 个象元的值及其权重, 即 $|x| < 1$ 的左右各一个, $1 < |x| \leq 2$ 左右各一个。 $|x| > 2$ 的权重则为 0, 认为与重采样象元无关, 不参加计算。在 (x, y) 的二维图象上, 共用周围 $4 \times 4 = 16$ 个象元值及其权重参与一个重采样值的计算。各国资源卫星地面接收站向用户提供的 landsat TM CCT, 绝大多数都进行了这种三次卷积重采样。重采样后图象的高频成分有所提高, 低频成分降低, 使图象锐化, 其缺点是在很大程度上改变了原始图象的数据值, 计算量也。

2.2 最邻近法

图 3 中 N. N. 为最邻近(Nearest Neighbor)法。

$$h(x) = \begin{cases} 1 & |x| \leq \frac{1}{2} \\ 0 & \frac{1}{2} < |x| \end{cases} \quad (3)$$

此重采样法用输入图象中最邻近象元值作为输出值。因此, 在重采样后的输出图象中的每个象元值, 都是输入图象中真实存在而未加任何改变的值, 能保持原图象的细微结构和高频特性, 也能准确保持多波段数据间的位置对应关系, 特别适合于多波段合成, 而且重采样的速度最快。但由于 NOAA 图象边缘处空间分辨率降低很多, 用最邻近法将会连续产生很多数值完全相等的象元, 从而影响图象的质量。

2.3 双线性法

图 3 中 B. L. 为双线性(Bi-Linear)法

$$h(x) = \begin{cases} 1 - |x| & |x| \leq 1 \\ 0 & 1 < |x| \end{cases} \quad (4)$$

此重采样法在 x 方向上用左右各一个近邻点进行线性内插。在 (x, y) 平面上则共用周围 $2 \times 2 = 4$ 个邻近点进行线性内插。这种重采样计算量不象三次卷积那样大, 也不象最邻近法那样, 会在 NOAA 图象远离星下轨迹处重采样的出现较多的同值图象数据, 比较适合于 NOAA 图象的重采样。

下面具体分析双线性重采样步骤:

设 x 为重采样点经度, 两侧图象点的经度分别

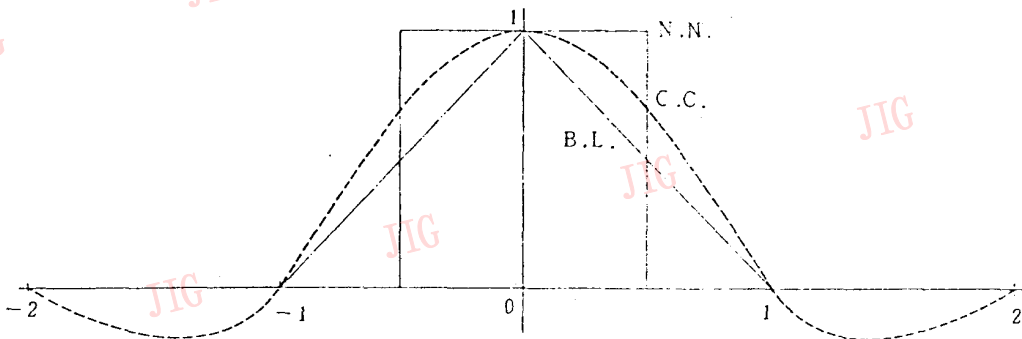


图3 重采样权重函数

Fig. 3 Resampling weight function

为 x_1, x_2 , 且 $x_2 > x_1$, 对应的图象数据为 g_1, g_2 , 根据式(4)则有

$$f(x) = \sum h(x)g(x) \\ = (1 - \frac{x - x_1}{x_2 - x_1})g_1 + (1 - \frac{x_2 - x}{x_2 - x_1})g_2 \quad (5)$$

整理后得

$$f(x) = g_1 + \frac{g_2 - g_1}{x_2 - x_1}(x - x_1) \quad (6)$$

(6)式即为典型的线性插值公式。根据 NOAA 每条扫描线上的定位数据, 可在指定经度范围内以 0.01 经度间隔逐点重采样, 并用定位数据插值求出每个重采样点的纬度值。

在 x 方向重采样后可得到两个二维数据集, 一个是间隔 0.01 经度的图象数据集, 一个是相同间隔的对应点的纬度值数据集, 然后用与(6)式类似的(7)式在 y 方向进行 0.01 纬度间隔的重采样。

$$f(y) = g_1 + \frac{g_2 - g_1}{y_2 - y_1}(y - y_1) \quad (7)$$

式中, y 为重采样点纬度, y_1, y_2 为经过上述 x 方向重采样后的上、下两侧图象点的纬度值, 且 $y_2 > y_1$, g_1, g_2 为对应点的图象值。这样经过 x, y 方向两次重采样后, 最后得到网点密度为 0.01 纬度 \times 0.01 经度的 NOAA 图象(图版 I, 图 4)。

可以看出, 远离星下轨迹两侧严重压缩的图象得到了校正, 位于星下轨迹附近的河套等地区的图象扭曲也消失了, 但由于此图象以 0.01 纬度 \times 0.01 经度为象元, 经纬网格为正方形, 因此除了在赤道外, 沿纬线长度变形均大于零, 而且, 随纬度增加而更加严重。可以算出在 60°N 沿纬线长度比为 2, 即变形为 1。随着纬度增加图象在东西向显著拉宽。尽管如此, 经过重采样得到的 0.01° \times 0.01° 的网格数据集, 却为进行适当的投影打下了基础。

3 投影方法

众所周知, 地球表面是一个不可展开的曲面, 要将其投影到平面上, 则不可避免地要产生各种变形。但是可以通过选取适当的投影方式, 来确保某一要素不变形, 而其它要素的变形限定在某一范围内的方法来处理。

地图投影按其变形性质可分为: 等角投影, 其方向及角度不发生变形; 等积投影, 其面积无变形; 任意投影, 其中包含等距投影。根据投影后经纬网格的形状又可分为方位投影(包括透视投影)、圆柱投影、

圆锥投影等。每类投影又分为正、横、斜轴投影。

对于气象预报及服务来说, 地图上的方向及角度很重要, 如风向和天气系统的移动路径等, 皆与方向及角度有关, 所用天气图多为双标准纬线正轴等角圆锥投影, 亦称正轴等角割圆锥投影, 下面论述 NOAA 图象的这种投影方法。

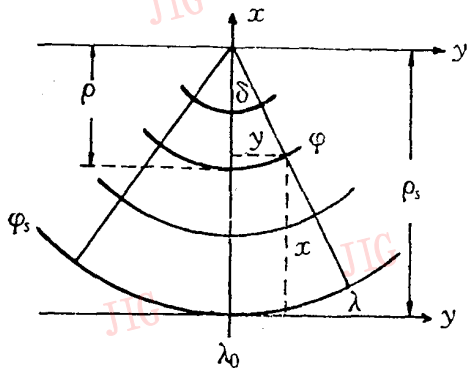


图5 双标准纬线正轴等角圆锥投影示意图

Fig. 5 Normal conic conformal projection concept

如图5所示^[2], 纬线投影后为同心圆弧, 经线为通过同心圆圆心的半径, 有关投影公式如下^[3]:

地球椭球参数

$$e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2} \quad (8)$$

式中, a 和 b 分别为地球椭球长与短半径, e 为第一偏心率。

$$N = \frac{a}{(1 - e^2 \sin^2 \varphi)^{1/2}} = \frac{a}{W} \quad (9)$$

式中, φ 为地理纬度, N 为卯酉圈曲率半径(法线长), W 为第一基本纬度函数。

$$r = N \cos \varphi \quad (10)$$

式中, r 为纬圈半径。

常数公式

$$\alpha = \frac{\ln r_2 - \ln r_1}{\ln U_1 - \ln U_2} = \frac{\ln r_2 - \ln r_1}{g_2 - g_1} \quad (11)$$

式中, r_1, r_2 分别为标准纬圈 φ_1, φ_2 的半径, U_1, U_2 为与 φ_1, φ_2 相对应的等角表象函数, g 为 U 的自然对数, 称为等量纬度。 α 称为圆锥常数, 在几何上的意义是长度比最小处纬度 φ_0 的正弦, $\alpha = \sin \varphi_0$ 。 U 的计算公式为:

$$U = \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right) \left(\frac{1 - e \sin \varphi}{1 + e \sin \varphi} \right)^{e/2} \quad (12)$$

$$C = \frac{r_1 U_1^\alpha}{\alpha} = \frac{r_2 U_2^\alpha}{\alpha} \quad (13)$$

式中, C 称为投影常数, 亦称积分常数, 在几何上的意义为赤道的投影半径。

极坐标公式

$$\delta = \alpha\lambda \quad (14)$$

$$\rho = \frac{C}{U} \quad (15)$$

式中, λ 为经度(中心经度 λ_0 为 0), δ 为某经线与中心经线投影后相应的夹角, ρ 为纬线, φ 的投影半径。

直角坐标公式

$$x = \rho_s - \rho \cos\delta \quad (16)$$

$$y = \rho \sin\delta \quad (17)$$

式中, ρ_s 为制图区域最低纬度 φ_s 的投影半径。

在一般地图投影中,就是按上述公式,将地球椭圆上的地理坐标 φ 和 λ 的网格按一定密度投影到 x 和 y 的平面直角坐标上,然后再以经纬网格作控制,将椭圆面上的各种要素转绘到平面 x 和 y 直角坐标中。

在图 6(图版 I)中,间隔 2° 的经纬网格可以很容易地用上述投影公式求出。图中,最低纬度 φ_s 为 18°N ,最高纬度 φ_n 为 42°N ,标准纬线 φ_1, φ_2 分别取 24°N 和 36°N ,中纬与中经线为 30°N 与 112°E 。需要指出,由(12)式求出的 C 是在 1:1 比例尺即未加缩小的等大条件下的赤道投影半径,而实际制图时则需按主比例尺 μ_0 进行缩小。

$$C = \frac{100\mu_0 r_1 U_1}{\alpha} = \frac{100\mu_0 r_2 U_2}{\alpha} \quad (18)$$

式中,乘以 100 是为了将 C 的单位由 m 改为 cm。若取 μ_0 为 1:1000 万,则在此算例中 C 为 144.28242188cm,而 α 与主比例尺无关,为 0.500937。

因为正轴等角圆锥投影的经线为同心圆半径,在确定了圆心位置后,可根据(14)式求出的与中经线的夹角 δ ,不经过直角坐标转换而利用 ER Mapper 的矢量处理功能直接绘出。同样,纬线为同心圆弧,也可用(15)式求出的各纬线的投影半径 ρ 通过该软件直接绘出。特别是在使用与计算机接口的图象输出设备时,这样直接绘制经纬网格要比先计算经纬线的交叉点方便得多。

虽然绘制上述的经纬网格极为简单,但要输出一幅准确投影的图象则复杂得多。图象是通过一定大小的象元无重叠又无遗留地铺满整个画面来实现的。而图 6 中的经纬网格并不是正方形,且随着纬度升高经距逐渐缩短,这样就不能用无限加密经纬网格的方法来获得一幅高质量的投影图象。例如,当网格加密到一定程度,沿纬线已布满象元时,沿经线方向则尚有很多不规的空白点,当网格加密足以使低

纬地区布满象元时,则高纬地区已有大量象元叠加到一起。作者是通过在投影图的 x, y 平面内,根据图象输出设备的分辨率,逐一求出每个象元点所对应的地理坐标 φ, λ ,利用上述重采样法得到的网格密度为 0.01 纬度 \times 0.01 经度的 NOAA 图象数据集(形成图 4 的数据集),再次进行重采样求出 φ, λ 坐标处的象元值,最后形成图 6 所示的 NOAA 双标准纬线正轴等角圆锥图象。下面详述具体算法。

可由(18)式及(12)、(15)式求出图 5、图 6 中最低纬度 $\varphi_s = 18^\circ\text{N}$ 的投影半径 ρ_s 为 123.07cm,以中经线 112°E 为中心,在 $102^\circ \sim 122^\circ\text{E}$ 的制图区域内, λ 的变化范围为 $\pm 10^\circ$,由(14)、(17)式可知在 y 轴(地图投影中常以 y 为横轴)变化范围为 $\pm \rho_s \sin(\alpha \times 10^\circ)$,约为 $\pm 10.75\text{cm}$ 。在纵轴 x 上,以中经线 112°E 与 y 轴交点为原点,在投影区域 x 的最大值为 $\rho_s - \rho_n \cos(\alpha \times 10^\circ)$,等于 27.02cm。然后,以图象输出设备的分辨率即象元的大小为步长,例如,用 ER Mapper driver 将输出分辨率调至 $100\mu\text{m}$,在图象幅宽为 $-10.75\text{cm} \sim 10.75\text{cm}$,高为 $0 \sim 27.02\text{cm}$ 范围内,逐点求出与每个象元相对应的地理坐标 φ, λ ,并从 NOAA 图象数据集中提取出相应的象元值。

由图 5 可知

$$\delta = \arctg \frac{y}{\rho_s - x} \quad (19)$$

根据(14)式则有

$$\lambda = \frac{\delta}{\alpha} = \frac{1}{\alpha} \arctg \frac{y}{\rho_s - x} \quad (20)$$

从 x, y 坐标直接求 φ 比较困难。先将地球参考椭圆在球面上进行等角投影,则

$$U = \text{tg}\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi'}{2}\right) \quad (21)$$

式中, ϕ' 称为等角纬度。

$$\phi = 2 \times \arctg U - \frac{\pi}{2} \quad (22)$$

而由(15)式

$$U = \left(\frac{C}{\rho}\right)^{1/\alpha} \\ = \left(\frac{C}{((\rho_s - x)^2 + y^2)^{1/2}}\right)^{1/\alpha} \quad (23)$$

由等角纬度 ϕ 求地理纬度 φ 的数值解为⁽⁴⁾

$$\varphi = \phi + B_2 \sin 2\phi + B_4 \sin 4\phi \\ + B_6 \sin 6\phi + B_8 \sin 8\phi \quad (24)$$

式中, $B_2 = 0.33560695588 \times 10^{-2}$, $B_4 = 0.65700353 \times 10^{-5}$, $B_6 = 0.176221 \times 10^{-7}$, $B_8 = 0.608 \times 10^{-10}$ 。以

上系数均为对克拉索夫斯基椭球而言,若采用其他椭球则系数会有微小的变动。对于气象卫星,这种小比例尺的图象,这种极微小差异是完全可以忽略不计的。综合(22)、(23)、(24)式就可由 x, y 坐标求出 φ 。这样就可以得到图6所示的双标准纬线正轴等角圆锥投影的 NOAA 图象。

4 结束语

NOAA 图象由于视场大(扫描宽度达 3000km)、畸变严重,因此重采样及投影具有重要的意义,若不进行重采样和投影,而只使用星下轨迹两侧宽度不到 300km 的畸变较小的部分,则必然会降低其时间分辨率,也将和资源卫星一样需几天才能获得一次图象,这样,气象卫星宏观、时效快的优势

便不能充分发挥出来。何况,即使只使用星下轨迹两侧不太宽的范围,严格来说也是有畸变的。另外,对卫星图象这种光栅数据进行投影,如文中所述,在处理方法上与地图网格展绘有很大不同,也更复杂、更困难些。至于在投影时如何更好地选定标准纬线等问题,请参考所列文献。

参考文献

- 1 宇宙开发事业团地球观测センター. 地球观测データ利用ハンドブック—ランドサット编. 改订版:リモート・センシング技术センター,1986,第2章,44~45.
- 2 胡毓钜等. 地图投影. 第1版. 北京:测绘出版社,1981,55~56.
- 3 黄国寿. 地图投影. 第1版. 北京:测绘出版社,1983,6~18,113~135.
- 4 杨启和. 地图投影变换原理与方法. 第1版. 北京:解放军出版社,1990,62~64.



王茂新,1964年毕业于沈阳农学院(现沈阳农大)。1981—1983年在日本大阪府立大学进修遥感,主要用资源卫星解译、反演亚热带山区气候资源及城市热岛效应。近年又用气象卫星进行土壤湿度、作物估产、雪灾等业务和科研工作。

The Study of NOAA AVHRR Image Resampling and Projection Methods

Wang Maoxin, Sha Yizhuo, Yu Li

(Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081)(Trident Systems Pte. Ltd., Beijing 100080)

Abstract The thesis focus on the necessity of Polar-orbiting Meteorological Satellite, NOAA AVHRR image resampling. It introduces the image resampling and projection methods by ER Mapper image processing system. It also makes the comparative analysis between the raw NOAA color image and after resampling & projection processing data.

Keywords NOAA, image resampling, projection methods

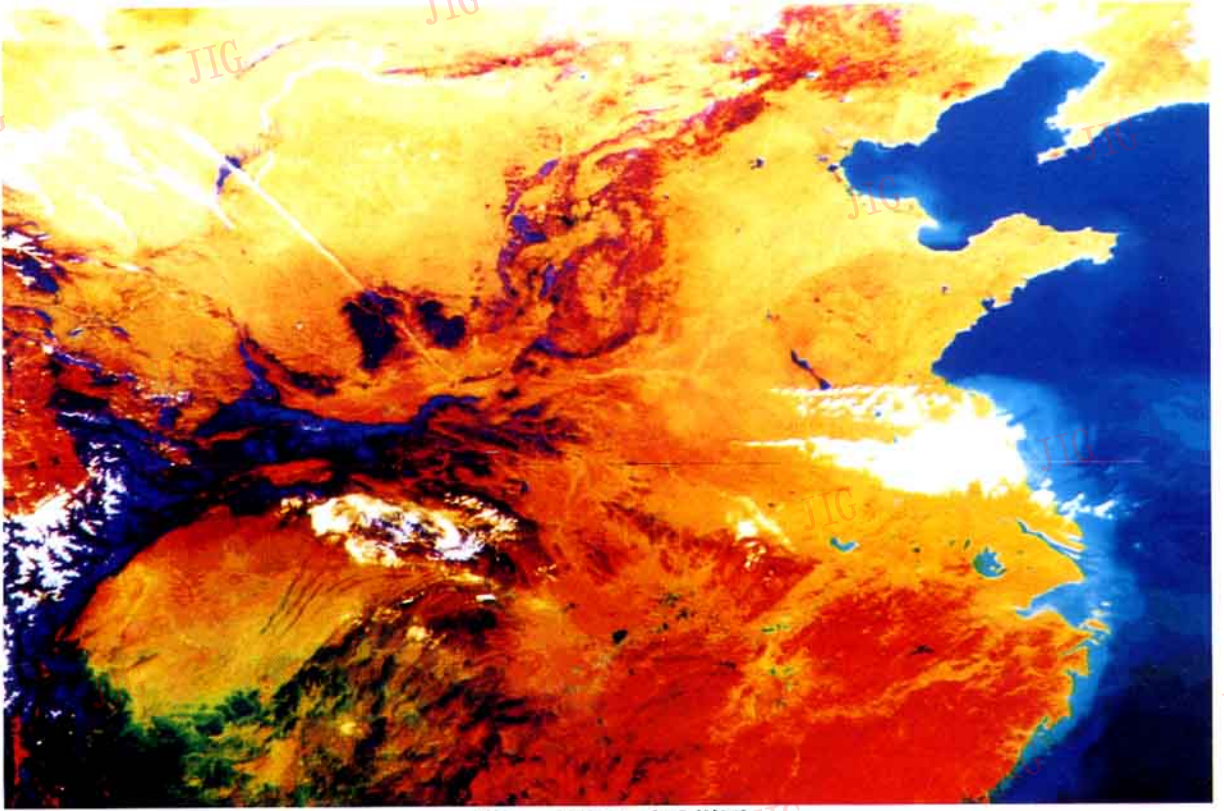


图4 NOAA重采样图
Fig.4 NOAA Resampling image

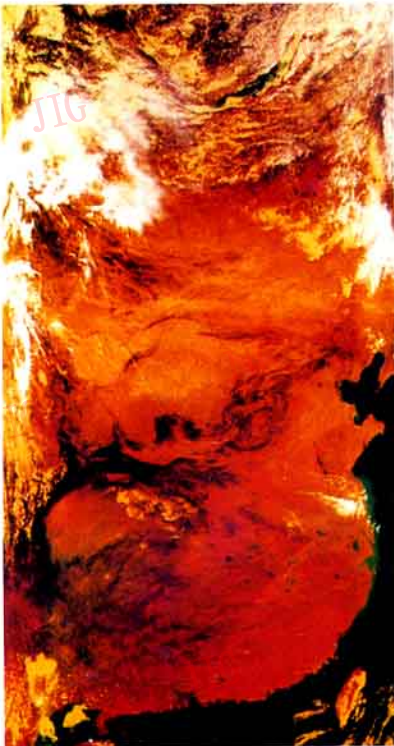


图1 NOAA原始图象
Fig.1 NOAA Raw data

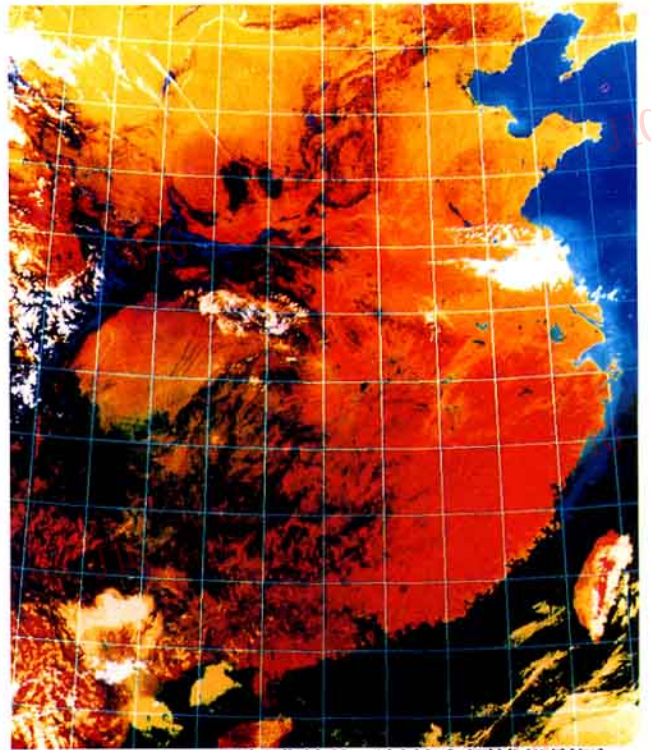


图6 NOAA双标准纬线正轴等角圆锥投影图
Fig.6 Normal conic conformal projection image with two standard parallels of NOAA