

文章编号: 1007-4619 (2004)06-0529-22

# 中国陆地 1km AVHRR 数据集

吴炳方<sup>1</sup>, 刘成林<sup>1,2</sup>, 张磊<sup>1</sup>, 李苗苗<sup>1</sup>, 黄慧萍<sup>1</sup>, 叶楠<sup>1</sup>

(1. 中国科学院 遥感应用研究所, 北京 100101; 2. 南昌大学 建筑工程学院, 南昌 330029)

**摘要:** 介绍了中国陆地范围的长序列 AVHRR 数据集及处理方法。数据处理链包括辐射标定、导航定位、几何精纠正、云检测、大气纠正、双向反射纠正以及多时相数据合成等一系列过程。大气校正采用 SMAC 方法, 利用每日的大气参数对臭氧、瑞利散射、气溶胶和水汽柱等 4 个主要大气因子的影响进行了纠正。利用地面能见度和水汽压信息反演气溶胶光学厚度, 利用最大植被指数法合成旬数据集。完成了 1991—2003 年的 AVHRR 数据集处理, 形成了标准的数据集。

**关键词:** 长序列数据集; 中国陆地; AVHRR

**中图分类号:** TP79 **文献标识码:** A

## 1 引言

自 20 世纪 60 年代美国成功发射了第一颗气象卫星以来, 几十年期间先后有百余颗气象卫星不断进入太空<sup>[1]</sup>, 其中隶属美国国家海洋和大气管理局的 NOAA 系列卫星是应用最成功、最广泛的气象卫星之一, 其主要任务是收集大气与地球表面温度、辐射数据。由于 NOAA 系列卫星数据具有快速、动态、宏观、成本低廉以及多光谱信息相对比较丰富等特点, 除了在气象领域应用以外, 在环境遥感监测方面也有它独到的应用价值, 并已经取得了很大的进展。长时间序列的数据集是全球环境变化研究所必需的, 从经济性和可行性上来考虑, NOAA 数据已经成为首选的信息源<sup>[1-3]</sup>。经过几十年的改进与完善, NOAA 卫星系列已经从 NOAA-7 发展到 NOAA-17, 最新的 NOAA-17(M) 已于 2002-06-24 成功进入极地轨道。至今 AVHRR 传感器也已经发展到第三代 (AVHRR/3), 搭载在 NOAA-15 以后的卫星上, 其观测波段范围也有所变化。目前, NOAA 在轨的 5 颗卫星分别是 NOAA-12, -14, -15, -16, -17, 前面 3 颗作为备用星继续传输数据, 后 2 颗作为“工作”星使用<sup>[4]</sup>。

国际上已有若干相关 NOAA AVHRR 数据集, 其中美国 NOAA 和 NASA 发起的 Pathfinder AVHRR 陆

地数据集<sup>[3]</sup>以及 IGBP 全球陆地 1km AVHRR 数据集<sup>[1,2]</sup>都是基于全球尺度的, 已经广泛应用于全球环境变化研究的各个领域。AVHRR 数据集主要应用于植被生态系统的研究与监测, 包括森林(尤其是生物量与火灾监测)、碳循环、冻土、草原监测、农作物长势监测与估产、土地覆盖与土地利用、城市热岛、陆地和冰雪制图, 此外还用于海平面温度、各种能量平衡等相关生物物理参数的提取。

中国农情遥感速报系统在开展农作物长势监测和产量预测时, 将 NOAA AVHRR 数据作为主要的遥感信息源之一。从 1998 年起一直对 NOAA AVHRR 的历史数据进行收集、归档、处理、应用, 并建立了实时数据的收集通道, 保证农情监测的实时运行。在进行农作物长势监测前, 需要对 AVHRR 数据进行逐日的大气纠正, 保证日与日之间、年与年之间的数据一致性, 从而确保用于长势监测的数据是可信的和可比的。在大气纠正基础上, 通过建立标准化的数据处理流程、补充非作物生长期数据等方法提高数据的可用性、可靠性, 建设中国陆地范围的长序列 AVHRR 数据集。

建立标准的 AVHRR 数据集涉及很多内容, 需要采用一系列标准化的算法, 尽可能地消除各种误差, 提供与地表生物物理参数一致的环境因子。NOAA AVHRR 数据的主要处理步骤包括辐射标定、

收稿日期: 2004-03-22; 修订日期: 2004-05-30

基金项目: 中国科学院知识创新重点方向项目: 全球农作物遥感估产研究 (KZCX2-313)。

作者简介: 吴炳方 (1962—), 男, 工学博士, 研究员, 博士生导师, 江西玉山人, 主要从事农业遥感与生态环境遥感研究, 发表论文 40 余篇。E-mail: wubf@irsa.ac.cn

几何配准、云标识、大气纠正、NDVI 计算、地表温度反演、时相复合等。目前国际上主要的 AVHRR 数据集建设在处理方法上大致相同,但由于开发组织、应用目标、空间尺度等方面有所不同,在处理步骤与方法上也稍有差异。

本文主要描述建立中国陆地范围的长序列 NOAA AVHRR 标准化数据集产品及技术方法,目前 13 年(1991—2003)序列的历史数据集建设已经基本完成,并已成功用于中国农情遥感速报系统。本数据集实时收集与处理每天的 NOAA AVHRR 数据,实现数据集的动态更新与维护。

## 2 数据获取

原始数据的获取从 1991 年开始,由每日覆盖中国陆地范围的 AVHRR HRPT 1B 格式数据组成,包含 5 个通道:1 个可见光、1 个近红外、1 个中红外、2 个热红外通道。各通道的详细光谱信息见表 1。

中国科学院遥感应用研究所 1992 年建立 NOAA AVHRR 地面接收站,多年来连续接收覆盖中国大范围的 NOAA 系列气象卫星的 HRPT 资料,并利用 NOAA AVHRR 卫星数据动态监测资源、环境、生态、灾害等多个领域,到目前为止 NOAA AVHRR 卫星数

表 1 NOAA AVHRR/2, AVHRR/3 的波段信息

Table 1 Spectrum information of AVHRR/2 and AVHRR 3

光谱通道	波段范围 / $\mu\text{m}$	主要用途
1	0.58—0.68	白天的云、雪、海水和地表图像
2	0.725—1.1	水体边界、植被覆盖、冰雪融化
3(A)	1.58—1.64	雪/冰识别、制图(NOAA-15 及其后续卫星)
3(B)	3.55—3.93	海面温度、高温热源、夜晚云图
4	10.3—11.3	海面温度、白天和夜晚云图、土壤温度
5	11.5—12.5	海面温度、白天和夜晚云图、土壤温度

据一直是中国农情遥感速报系统的主要信息源,同时也是本数据集原始数据的主要来源。

NOAA 气象卫星的轨道每天向东(或向西)漂移  $6^\circ$  左右,大约 1 周或稍长时间内星下点会重复一次。对同一地点不同日期,NOAA AVHRR 扫描辐射计所获得的数据分辨率是不同的,在星下点为  $1.1\text{km} \times 1.1\text{km}$ ,观测角  $50^\circ$  时,远离星下点为  $2.3\text{km} \times 4.2\text{km}$  左右<sup>[2,3]</sup>。中国陆地范围较大,至少需要三条轨道的数据才能完全覆盖。建立数据集所采用的 NOAA AVHRR 数据获取主要通过中国科学院遥感应用研究所气象卫星数据接收平台,每天接收白天过境的 2—3 轨过境数据,其中 1—2 轨(按每天过境的时间顺序)覆盖中国中、东部大部分地区(图 1),第 3 轨

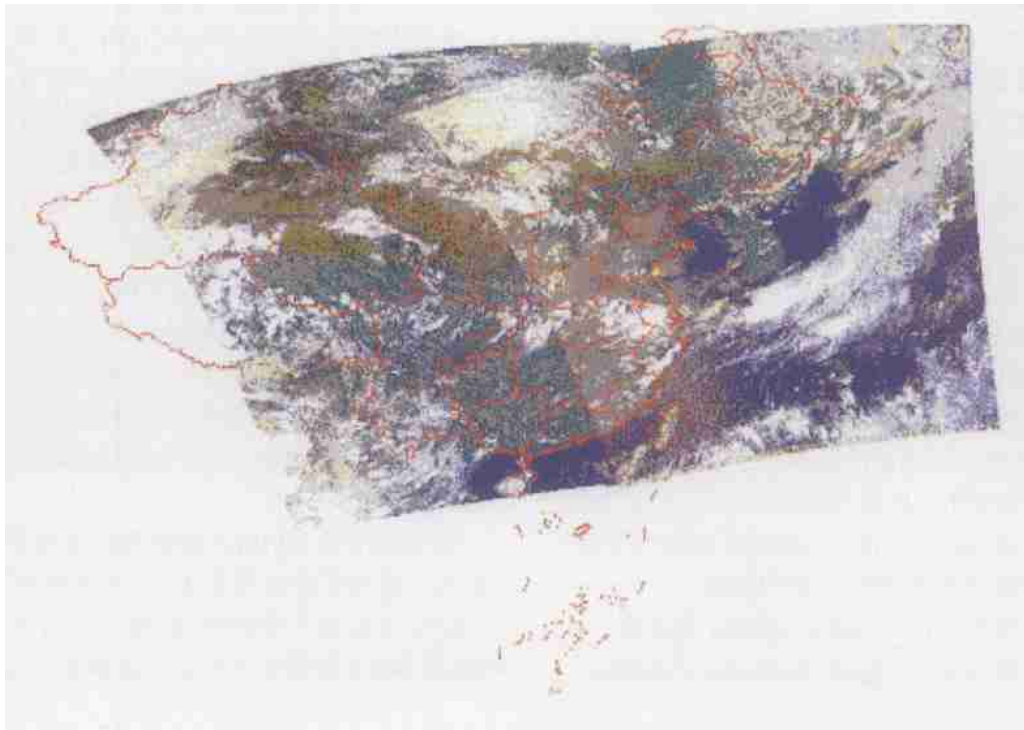


图 1 NOAA AVHRR 数据

(中国科学院遥感应用研究所接收站白天接收的两轨过境数据,获取时间为 2000-07-24)

Fig. 1 NOAA AVHRR data (Daytime received 24 July 2000 by IRSA)

覆盖西部地区, 如 3 轨数据能够全部接收到, 则数据可覆盖全国陆地范围(图 2)。中国陆地 1km AVHRR 数据集由 NOAA 极轨卫星的下午过境(升轨)的数据组成, 没有收集夜间(降轨)的数据。由于卫星轨道的飘移(向东或向西), 一般本地接收站只能接收前两轨的数据, 每隔一周能接收到

第 3 轨数据, 可见由一个接收站的数据是不能保证每日接收覆盖全国范围的 NOAA AVHRR 数据。为了保证数据集的完整性, 需要通过其他途径获取第 3 轨道的 AVHRR 数据, 如向中国气象局国家卫星气象中心购覆盖中国西部地区的第 3 轨道 NOAA AVHRR 数据。

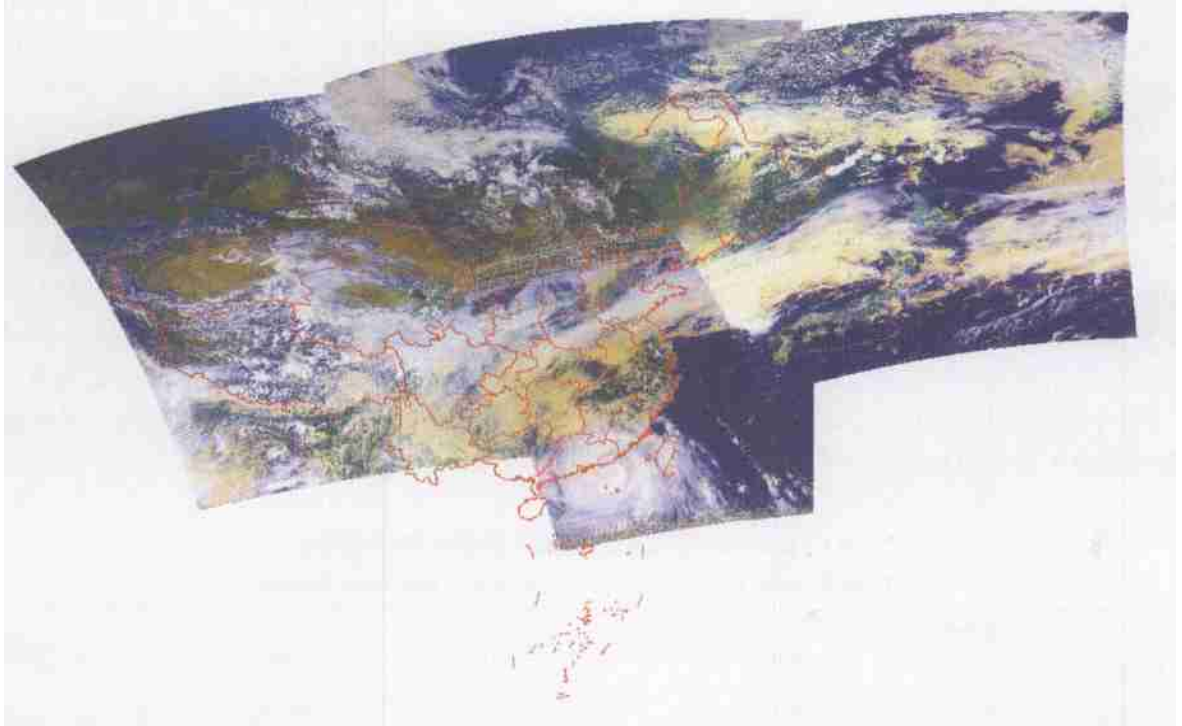


图 2 NOAA AVHRR 数据

(中国科学院遥感应用研究所接收站白天接收的 3 轨过境数据, 获取时间为 2003-09-02)

Fig.2 NOAA AVHRR data (Daytime received 2 Sep. 2003 by IRSA)

1998 年以来中国科学院遥感应用研究所的 NOAA 接收站保存的数据比较齐全。在收集历史数据的过程中, 经常会出现数据缺失现象, 1998 年以前的数据一部分购自国家卫星气象中心, 另一部分通过 Internet 方式从美国 NOAA 数据中心<sup>[5]</sup>订购下载。通过接收、购买与订购 3 种互补渠道, 目前所收集的数据包括了 1991 年以来覆盖中国陆地地区的 NOAA AVHRR 多光谱原始影

像数据, 为数据集的建设奠定了基础。历史数据涉及的系列卫星有 NOAA-11, -12, -14, 传感器类型为 AVHRR/2, 实时接收与处理的原始数据来自 NOAA-16, 传感器类型为 AVHRR/3。表 2 显示了 1993、1994、1997 年数据集中的缺失情况, 其中 1993 年没有数据, 1996、1998、2001 年数据收集较齐全, 其他年份基本到位, 能保证空间范围以及时相周期的全覆盖。

表 2 1991—2003 年原始 AVHRR 数据收集情况  
Table 2 AVHRR data acquisition from 1991 to 2003

年份	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
数据量/轨	786	828	0	189	755	999	520	1015	699	697	1080	782	789
获得率/%	71.78	75.62	0	17.26	68.95	91.23	47.49	92.69	63.84	63.65	98.63	71.42	72.05

### 3 处理方法

AVHRR 数据处理涉及标定、辐射校正、几何校正、大气纠正、双向反射模型纠正以及 NDVI、地表温度等环境因子的反演等过程。表 3 列出了本数据集和国外相应数据集的特征与处理方法比较。

从表中可以看出 4 个数据集在传感器标定的通道、配准与重采样、大气纠正中瑞利散射与臭氧部分、合成周期与方法几个方面的处理是一致的,而其他的处理内容则有不同程度的差异。Pathfinder 数据集获取的数据类型是 GAC 1B 数据,而其他 3 种数据集获取的数据类型是 HRPT 1B 数据,IGBP 与 Pathfinder 数据集覆盖全球,而 ABC<sup>3</sup><sup>[6]</sup>与 IRSA-CROP 数据集则只覆盖全球范围的部分区域。不同数据集进行大气纠正通道数据是不同的,ABC<sup>3</sup> 数据集对 1,2,4 三个通道数据进行大气纠正,而其他 3 个数据集则只对 1,2 通道的数据进行大气纠正。此外

IGBP 与 Pathfinder 数据集不对气溶胶与水蒸气方面的影响进行纠正,ABC<sup>3</sup>, IRSA-CROP 数据集则通过固定值或接近实时值的方面消除气溶胶与水蒸气方面的影响。在云标识处理方面,IGBP 没有云标识这一处理过程,Pathfinder 与 IRSA-CROP 数据集采用 CLAVR<sup>[3,7-14]</sup>算法对影像中的云进行识别,而 ABC<sup>3</sup> 数据集则采用傅里叶转换法进行云标识。IGBP 与 Pathfinder 数据集不对地表温度进行反演,而且不作双向反射模型纠正,而 ABC<sup>3</sup> 与 IRSA-CROP 数据集则采用劈裂窗法进行地表温度的反演,对通道 1,2 数据进行双向反射模型纠正。尽管 4 个数据集的合成周期与方法是一致的,但对于合成条件则有一定的差异,其中 IGBP 数据集没有说明合成的条件,ABC<sup>3</sup> 数据集对于数据合成的条件没有限制,对于所有的数据都进行合成,而 Pathfinder 数据集则只对卫星观测角度小于 42° 的像元进行合成运算,IRSA-CROP 数据集限制参与合成的像元其卫星观测角度小于 55° 的像元。

表 3 IRSA-CROP 与其他 AVHRR 数据集处理方法比较

Table 3 Data processing methods comparison with other datasets

数据集名称		IGBP <sup>[2,3]</sup>	Pathfinder <sup>[3]</sup>	ABC <sup>3</sup> <sup>[4]</sup>	IRSA-CROP
数据类型及范围		HRPT 1B, 全球	GAC 1B, 全球	HRPT 1B, 区域	HRPT 1B, 区域
传感器标定		通道 1-5	通道 1-5	通道 1-5	通道 1-5
配准、重采样		√	√	√	√
大气纠正	通道	1,2	1,2	1,2,4	1,2
	瑞利散射	√	√	√	√
	臭氧	√	√	√	√
	气溶胶	×	×	√(固定值)	√(接近实时值)
	水蒸气	×	×	√(固定值)	√(接近实时值)
云标识	×	√(CLAVR 算法)	√(傅里叶转换法)	√(CLAVR 算法)	
地表温度反演	×	×	√(劈裂窗法)	√(劈裂窗法)	
双向反射模型纠正	×	×	√(通道 1,2)	√(通道 1,2)	
合成周期、方法		8-11 天, MVC	8-11 天, MVC	8-11 天, MVC	8-11 天, MVC
合成条件		未说明	VZA < 42°	所有	VZA < 55°

注:ABC<sup>3</sup> 为加拿大遥感中心的系列算法;IRSA-CROP 为本数据集算法。

AVHRR 数据处理通常选择一些公认并适用于运行化处理的标准算法,在合理与有效性基础上进行逐级处理<sup>[3]</sup>。对 AVHRR 5 个通道数据定时,1-2 通道采用与时间相关的增益系数与偏移量,3-5 通道采用星载标定,包括线性标定与非线性校正<sup>[3,7]</sup>。在数据定时与纠正的基础上进行云检测

时,利用 5 个通道多光谱信息,采用决策树<sup>[7-14]</sup>的方式判断干净像元(无云)、混合像元(部分有云)、污染像元(云覆盖)<sup>3</sup> 种情况。使用 SGP(简化常规摆动)轨道模型<sup>[15,16]</sup>,通过收集对应 NOAA 卫星的轨道信息<sup>[17]</sup>和 1B 数据提供的单一控制点进行卫星数据导航并重采样,配准到地面坐标系,再通过地面

控制点(一些典型地物特征)进行二次几何调整<sup>[18]</sup>。数据导航过程中可以计算出观测几何特征,即太阳天顶角、卫星观测角以及相关方位角,用于大气纠正和双向反射模型校正。大气校正采用 SMAC 方法<sup>[19]</sup>(SMAC 是 Simplified Method for Atmospheric Correction 的简称),结合地面观测的气象信息,应用大气辐射传输简化方程对臭氧、瑞利散射、气溶胶、水蒸气 4 个主要大气因子的影响进行纠正,其中瑞利散射中大气压力效应,用中国 1:100 万的数字高程模型进行调整。由于 AVHRR 数据具有多角度信息特征<sup>[20-22]</sup>,需要进行双向反射模型纠正,在数据集中对 1,2 通道不同角度的反射率按双向反射模型归一化成 45°太阳入射角和 90°观测角的反射率。NDVI 的重新计算是在上述数据处理步骤完成后进行的,地表温度的反演采用劈裂窗方法<sup>[6,23-25]</sup>,对地表发射率进行校正而获得。用 MVC(NDVI 最大值法)法进行旬合成,根据不同年份与月份,每旬天数不一定是 10 天,有 8 或 9,10,11 天这几种情况;此外合成的另一个限制条件是卫星观测角度小于 55°,即大于该角度的像元不参与合成运算。

经过以上几个步骤后,输出的产品有通道 1,2 地表反射率、通道 3,4,5 亮度温度、几何观测特性(太阳天顶角、卫星观测角、相对方位角)、NDVI、云标识以及日期索引。每日的原始数据、处理结果数据以及合成数据都需要归档,数据采用 8 位或 16 位格式存储,保证足够的数据处理精度与存储精度。

### 3.1 数据标定

根据 NOAA AVHRR 数据通道的不同,标定工作分二步:一是将 1,2 通道数字灰度值(DN)转换成大气顶端反射率(TOA)或辐射率(单位是  $\text{Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$ ),本数据集采用反射率;二是将 3,4,5 通道数字灰度值转换成亮度温度值。对于不同的传感器数据(NOAA-12,-14,-16),标定的方式有所不同,可以根据 1B 数据本身提供的标定信息按以下方法完成标定工作。

#### 3.1.1 通道 1,2 标定

1B 数据提供了各通道的斜率  $S_i$  与截距  $I_i$ ,因此 1-2 通道数据的标定直接采用线性标定方法。虽然 1-2 波段并没有星载定标器,但在 NOAA-14 及其以后的 AVHRR 传感器数据中,这些参数已经考虑了发射后传感器的衰减<sup>[26]</sup>。标定见公式(1):

$$A_i = S_i C_i + I_i \quad (1)$$

式中  $A_i$  为 TOA 反射率,  $C_i$  为通道号 1 或 2,  $C_i$  为各

通道的灰度值。

对于 NOAA-14,也可以按以下公式对 1-2 通道进行标定:

$$A_i = \rho^2 S_i (C_i - 41) \quad (2)$$

其中:  $S_1 = 0.0000135 D + 0.111$ ;  $S_2 = 0.0000133 D + 0.134$ ,  $D$  是卫星发射后天数; NOAA-14 发射日期为 1994-12-30;  $C_i$  为各通道的灰度值。  $\rho^2$  为地球-太阳距离因子,计算公式如下:

$$\rho^2 = 1 / [1.00011 + 0.034221 \cos \theta + 0.001280 \sin \theta + 0.000719 \cos 2\theta + 0.000077 \sin 2\theta] \quad (3)$$

其中:  $\theta = 0.9863 n$ ,  $n$  是年度日期索引,即影像获取日期在本年度的位置,1 月 1 日为 1,12 月 31 日为 365。

NOAA-16 的第三代传感器 AVHRR/3,白天数据增加了一个短波红外波段 3A,其标定方法也有所变化,采用双斜距和截距函数来进行,但在高辐射区和低辐射区使用了不同的斜距与截距,详细可参见 NOAA 极轨数据用户手册<sup>[7]</sup>。

由于 NOAA AVHRR 视场角很大,扫描的地面宽度范围达到 2700km,因此每一条扫描线上的太阳角变化都很大,这导致了同一景影像中地物接受的太阳辐射有很大的差异,因此,需要对 1-2 通道作太阳角纠正,公式如下:

$$\text{输出值} = \text{输入值} / \cos(Z) \quad (4)$$

式中表明反射率或辐射率的输出值等于反射率或辐射率的输入值除以太阳角的余弦值。由于辐射纠正计算需要太阳天顶角度,所以这步工作可以放在数据导航后进行(数据导航可以产生太阳天顶角、卫星观测角以及相对方位角,也用于大气纠正)。公式(4)的纠正是基于假设地球表面为均质平坦的朗伯体。

#### 3.1.2 通道 3,4,5 标定

AVHRR 热红外 3,4,5 波段把安装在卫星内部的一个稳定“黑体”以及观测外层太空作为参照来反演标定系数<sup>[28]</sup>,标定分两个阶段,先用线性方法把数字灰度值转换成辐射率,然后进行辐射率非线性纠正,最后采用普朗克转置函数把辐射率转换成亮度温度。

线性标定按公式(1)进行,斜距与截距从 1B 数据中获取。

NOAA-12 和 NOAA-14 及后续传感器数据的非线性纠正方法是不同的。NOAA 用户手册提供了 NOAA-12 数据 4-5 通道的非线性纠正参照表,该表列出了内部定标“黑体”摄氏温度和对地观测的 K

氏温度之间误差对应关系。先计算出定标对地观测温度和内部定标体温度,然后对照误差关系表进行插值得到非线性部分的误差,对地观测的 K 氏温度加上非线性部分误差就得到定标的最终亮温。计算内部定标体温度主要采用 4 个白金阻抗来测量定标体(黑体)的温度,见公式(5),(6)。

$$T_{PRT,i} = C_{0,i} + C_{1,i}C_{PRT,i} + C_{2,i}C_{PRT,i}^2 + C_{3,i}C_{PRT,i}^3 + C_{4,i}C_{PRT,i}^4 \quad (5)$$

$$T_{ICT} = \frac{\sum_{i=1}^4 T_{PRT,i}}{4} \quad (6)$$

其中:  $T_{PRT,i}$  为每个阻抗温度值;  $i = 1, 2, 3, 4$ ;  $C_{0,i}$ ,  $C_{1,i}$ ,  $C_{2,i}$ ,  $C_{3,i}$ ,  $C_{4,i}$  是各阻抗系数;  $C_{PRT,i}$  是各阻抗测量值;  $T_{ICT}$  是内部定标体(黑体)的温度。

NOAA-14 数据采用公式(7)实现 3, 4, 5 通道的非线性纠正,得到辐射量<sup>[27]</sup>。

$$RAD = AR_{lin} + BR_{lin}^2 + D \quad (7)$$

其中:  $RAD$  为非线性纠正后的辐射量,  $A$ ,  $B$ ,  $D$  是非线性纠正系数(表 4); 1B 数据标定信息中带有该系数;  $R_{lin}$  是按公式(1)进行线性标定的结果。

表 4 NOAA-14 数据的非线性纠正系数  $A$ ,  $B$ ,  $D$

Table 4 Nonlinear coefficients of NOAA-14

	通道 3	通道 4	通道 5
$A$	1.00359	0.92378	0.96194
$B$	0.0	0.0003822	0.0001742
$D$	-0.0031	3.72	2.00
$Rsp$	0.0069	-4.05	-2.29

亮温计算都采用普朗克转置函数,如公式(8)所示。

$$T = \frac{C_2 \nu}{\ln(1 + C_1 \nu^3 / E)} \quad (8)$$

其中  $T$  为亮度温度,  $C_1$ ,  $C_2$  是常量;分别为  $1.1910659 \times 10^{-5}$  以及  $1.438833$ ;  $E$  是辐射量  $\nu$  为各波段光谱响应的中心波数 ( $\text{cm}^{-1}$ )。不同传感器的各波段中心波数有所不同,而且在不同亮温范围内也有差别,因此在反演亮温时要进行循环假设运算以确定每一波段的波数位于合适的亮温范围。计算时先假设中心波数位于某个亮温范围,代入公式(8),如果亮温计算的结果正处于该范围则停止循环,否则继续假设计算直到找到合适的中心波数为止。

NOAA-16 数据的非线性纠正方式又有变化,直接使用公式(9)计算辐射值,这一过程已包含了非线性纠正过程,然后按照公式(10),(11)计算亮度温

度<sup>[27]</sup>。

$$N_E = a_0 + a_1 C_E + a_2 C_E^2 \quad (9)$$

$$T_E^* = \frac{c_2 \nu_c}{\ln \left[ 1 + \left( \frac{c_1 \nu_c^3}{N_E} \right) \right]} \quad (10)$$

$$T_E = \frac{T_E^* - A}{B} \quad (11)$$

公式(9)-(11)中,  $N_E$  是 4-5 波段的计算辐射值;  $C_E$  是各通道灰度值;  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$  是标定系数;在 1B 数据的标定信息中包含该系数。  $\nu_c$  是各波段光谱响应中心波数(注意,NOAA-16 以后没有划分亮温范围与波数的关系表,因此不用假设循环计算),常量  $c_1$ ,  $c_2$  分别为  $1.1910427 \times 10^{-5}$  和  $1.4387752$ ;  $A$ ,  $B$  为转换系数(表 5),  $T_E$  是最终亮度温度。

表 5 NOAA-16 数据非线性纠正公式中的 4,5 通道转换参数  
Table 5 Nonlinear coefficients of channel 4 and 5

通道 \ 系数	$\nu_c$	$A$	$B$
4	917.2289	0.332380	0.998522
5	838.1255	0.674623	0.998363

### 3.2 云检测<sup>[10-14]</sup>

云检测是在数据定标与纠正的基础上进行的,通过 CLAVR 技术方法<sup>[10]</sup>来实现,并对若干阈值参数作了适当的修改,因此更适宜于中国地区<sup>[28]</sup>,CLAVR 现在已经发展到第 3 个版本<sup>[14]</sup>,应用于许多研究及数据集的开发中,如 Pathfinder 计划中的全球陆地数据集 PAL 以及大气项目 PATMOS,尤其适用于海洋上空云的识别与分类,在对陆地上空云的检测时采用了不同的初始化阈值(表 6),效果较好。CLAVR 方法以  $2 \times 2$  像元窗口为基础,利用 5 个通道

表 6 云检测决策树的初始化阈值

Table 6 Threshold values of decision tree in cloud detection

测试步骤	利用通道	初始值(判断条件)
RGCT	1	>42%
RUT	1	>11%
RRCT	2, 1	0.9-1.1
C3AT	3, 4, 5	>6%
TUT	4	>5.5K
FMFT	4, 5	>fcn $T^4$
TGCT	4	<249K
C3AR	3	<3%
TUR	4	<1K
TGCR	4	>293K

的多光谱信息,采用决策树的方式,使用固定或半经验的优化初始化阈值去判别干净像元(无云)、混合像元(部分有云)、污染像元(云覆盖)。判别是否有云,主要基于云以及地表的辐射特性与物理属性之间的差异,即辐射的反射与发射、波长独立性、空间变化性。

在云检测过程中,判别  $2 \times 2$  窗口内像元是否为云,只有当 4 个像元全部通不过检测时,则该窗口被标识为干净的(即无云像元),否则,如 1—3 个像元通过了检测则该窗口内的像元为混合像元,如 4 个像元都通过了测试则该窗口内的像元为云污染像元。

在开始云检测时先把每个像元都初始化为干净像元,即为 1,然后根据各项检测的最终结果分别赋予 1 为干净像元,2 为混合像元,3 为污染像元。

### 3.3 几何配准

几何配准的第一步是对 1B 格式的 AVHRR 数据进行卫星轨道导航,即根据影像数据本身提供的星历信息以及 NOAA 提供的轨道(以预报的形式定期提供),提取出每个像元的几何观测信息,包括太阳天顶角、卫星观测角以及太阳-卫星对地面的相对方位角。第二步是按 NOAA 卫星几何模型进行系统几何纠正,将数据重采样到地面投影坐标系统。投影系统采用 Albers 正轴等面积双标准纬线割圆锥投影,选取等面积投影主要是便于空间分析,同时也是考虑 NOAA 数据分辨率较低的原因。对于 AVHRR 1km 分辨率数据,在整个中国范围内使用 Albers 投影体系是合适的,现有的数据处理能力也足够胜任。投影参数见表 7。

表 7 数据集 Albers(阿尔伯斯)投影参数

Table 7 Parameters of projection in dataset

椭球体名称	Krasovsky(克拉索夫斯基)
中央经线	110.00°
参考纬线	0°
第一标准纬线	25.00°
第二标准纬线	47.00°
向东偏移量	4000km
向北偏移量	0

一般情况下,利用轨道与星历信息对单景 NOAA AVHRR 影像进行系统几何纠正,精度基本上能满足要求,其中星下点几何相对位置的误差在 0.5—1.0(个像元以内,但远离星下点的空间分辨率

与畸变则比较严重。此外当轨道信息不够准确时,系统几何误差也比较大,此时需要进行二次几何精纠正。考虑到误差分布的特征,在配准过程中只利用每景影像星下点区域的数据,即保留全景数据中卫星观测角度在  $-55^\circ$ — $55^\circ$  范围以内的数据,其他部分不参与数据后续处理,就能有效减少影像边缘畸变以及双向反射效应的影响。1B 数据沿轨道方向有 1024 列,参与处理的数据星下点区域大约有 700 列,其他 324 列数据不参与运算。

在几何精纠正过程中选取地面控制点的方法有两种,一是定期选择无云的 SPOT VGT 数据作为参考影像用于地面控制点选取,二是从 1:100 万、1:400 万的基础地理数据库中选择典型地形地貌特征与特殊地物如大型内陆水体(水库、湖泊、河流)、海岸线等作为地面控制点。为保证原始光谱信息的完整性,数据重采样方式选择最邻近插值方法。

### 3.4 大气纠正

由于辐射能量经过大气传输路径的吸收、散射等衰减过程,传感器所接受到的地面光谱信息受水汽和气溶胶的影响很大,所以在遥感数据的处理过程中只依赖光学遥感信息定标还不够,必须进行大气影响纠正,只有经过大气纠正后的数据才能应用于资源与环境变化监测。此外由于地物的双向反射特性,对于大视场角的遥感仪器获得的遥感资料如 NOAA AVHRR 数据,必须对可见光和近红外波段进行双向反射纠正。

大气纠正是数据集建设过程中数据处理的重要组成部分,计算过程也最复杂,对于运行化的处理系统有很高的要求,既要考虑系统数据处理能力,也要考虑数据的处理精度,因此必须选择合适的大气纠正处理方法。

当前,基于大气辐射传输理论有 5S, 6S, Lowtran、Modtran 等模型,国内外很多科学家一直应用这些模型,结合地面场地定标进行目标信息反演取得了比较理想的结果。模型能合理地处理大气中的散射、吸收,需要输入一系列的大气参数包括臭氧、水汽压、大气压、大气光学厚度、气溶胶等<sup>[6,19,20]</sup>。经分析与考察采用一种简化了的 5S, 6S 大气纠正模式,称为 SMAC<sup>[13]</sup> 的大气纠正方法,该方法针对不同的传感器与光谱波段可用 5S 或 6S 模拟给出半经验公式或系数,即中间变量的查找表<sup>[19]</sup>,执行速度比 5S, 6S 等模型要快得多。SMAC 方法考虑了大气双向传输效应、瑞利、气溶胶散射、臭氧、水蒸气吸收,

研究表明该模型中引进参数的误差较小。该模型要求输入的参数有大气顶端(TOA)反射率、太阳天顶角、卫星观测角、相对方位角、水汽含量、550nm 气溶胶光学深度、臭氧、地表大气压,输出的为地表反射率。

目前,国际上有若干 AVHRR 数据集采用 SMAC 方法进行大气纠正,如 LASUR 地表反射率数据集<sup>[29]</sup>、加拿大 ABC3 算法<sup>[6]</sup>。由于难以获取实时、丰富、准确的大气输入参数,在很多运行化的大气纠正数据处理中对这些参数的设置常常采用一些简化措施,如对某些大气因子假设为常量或者忽略某些因子的影响。

在本数据集的大气纠正处理中,收集了大量气象观测数据,如每日的大气压、水汽柱、能见度等,这些信息可以反演某些大气参数或可以直接输入到大气纠正算法中,基本上满足了与数据获取的同步要求,进行像素级的大气校正。

由于电磁波辐射与地球大气作用的理论非常复杂,从遥感应应用角度出发,有必要对其进行简化,考虑 AVHRR 分辨率较低,忽略地表目标的空间异构性<sup>[13]</sup>。SMAC 方法采用的大气辐射传输简化模式如(13)所示。

$$\rho^* = t_g \{ \rho_a + T(\theta_s) T(\theta_v) \rho_c / (1 - \rho_c S) \} \quad (13)$$

其中: $\rho^*$  为大气顶端(TOA)光谱反射值; $t_g$  为大气路径穿透率,大气吸收的因子包括水蒸气、臭氧、一氧化碳、二氧化碳、二氧化氮、氧气、甲烷等,由于后

面几项因子的影响相对较弱或很小,只考虑了水蒸气与臭氧的影响; $\rho_a$  为大气折射,主要影响因子是大气分子和气溶胶颗粒以及太阳入射角、卫星观测角以及太阳-卫星的相对方位角; $\rho_c$  为地表反射率; $S$  为大气天体(行星)反照率; $T(\theta)$  为大气传输,包括直接传输与散射传输。

SMAC 方法的软件和参数可以从网站下载,相应的式子和对应的 NOAA-12,-14 和-16 的参数在下面给出,以便读者查询<sup>[www4]</sup>。

### 3.4.1 大气穿透率

$$t_g = t_{H_2O} t_{O_3} t_{CO_2} t_{O_2} \quad (14)$$

其中:

$$t_{H_2O} = \exp(a(mU_{H_2O})^n) \quad (15)$$

$U_{H_2O}$  为垂直水汽含量,单位为  $g \cdot cm^{-2}$ ,我们通过气象观测数据进行反演。

$$t_{O_3} = \exp(a(mU_{O_3})^n)$$

$U_{O_3}$  为垂直臭氧含量,单位为  $atm \cdot cm$ ,通过 TOMS 数据获得<sup>[27]</sup>。

$$t_{O_2} = \exp(a(m)^n)$$

$$t_{CO_2} = \exp(a(m)^n)$$

$$m = 1/\cos \theta_s + 1/\cos \theta_v \quad (16)$$

$a, n$  是常量,各种气体随不同卫星与光谱波段变化,根据 5S 大气算法的输出结果作调整, $\theta_s$  为太阳天顶角, $\theta_v$  卫星观测角。表 8 列出 NOAA AVHRR 传感器  $a, n$  参数。

表 8 NOAA AVHRR 传感器  $a, n$  参数

Table 8 Coefficient  $a$  and  $n$

星号 \ 参数	可见光(VIS)波段			近红外(NIR)波段		
	大气类型	$a$	$n$	大气类型	$a$	$n$
NOAA-12	H <sub>2</sub> O	-0.006320	0.725716	H <sub>2</sub> O	-0.070431	0.437819
	O <sub>3</sub>	-0.077708	0.990404	O <sub>3</sub>	-0.002825	0.994646
	O <sub>2</sub>	-0.003682	0.524286	O <sub>2</sub>	-0.025861	0.284320
	CO <sub>2</sub>	0	0	CO <sub>2</sub>	0	0
NOAA-14	H <sub>2</sub> O	-0.007335	0.705385	H <sub>2</sub> O	-0.075332	0.429784
	O <sub>3</sub>	-0.075728	0.989569	O <sub>3</sub>	-0.002533	0.994668
	O <sub>2</sub>	-0.003951	0.513197	O <sub>2</sub>	-0.023563	0.284330
	CO <sub>2</sub>	0	0	CO <sub>2</sub>	0	0
NOAA-16	H <sub>2</sub> O	-0.007552	0.705385	H <sub>2</sub> O	-0.075332	0.429784
	O <sub>3</sub>	-0.075728	0.989569	O <sub>3</sub>	-0.002533	0.994668
	O <sub>2</sub>	-0.003951	0.513197	O <sub>2</sub>	-0.023563	0.284330
	CO <sub>2</sub>	0	0	CO <sub>2</sub>	0	0

### 3.4.2 大气行星反照率

$$S = 1 - 1 / (a_0 + a_1 \tau_{550}) \quad (17)$$

其中:  $a_0, a_1$  是常量, 同样用 5S 算法输出结果进行

调整, 表 9 列出 NOAA AVHRR 传感器  $a_0, a_1$  参数;  $\tau_{550}$  为 550nm 气溶胶散射光学厚度, 该参数随空间、时间变化, 用气象观测数据可对该参数进行反演。

表 9 NOAA AVHRR 传感器  $a_0, a_1$  参数

Table 9 Coefficient  $a_0$  and  $a_1$

星号	参数	可见光波段		近红外波段	
		$a_0$	$a_1$	$a_0$	$a_1$
NOAA-12		1.056132	0.225075	1.021110	0.168706
NOAA-14		1.053089	0.235153	1.020417	0.166545
NOAA-16		1.052035	0.241153	1.020098	0.165465

### 3.4.3 大气总传输率(包括直接与散射)

$$T(\theta) = e^{-\tau/\mu} + t_d(\theta) = a_0 + a_1 \tau_{550} / \cos(\theta) + a_2 / (1 + \cos(\theta)) \quad (18)$$

$\theta = \theta_s$  或  $\theta_v, \mu = \cos(\theta_s)$  或  $\cos(\theta_v)$ ,  $\theta_s$  为太阳天顶角,  $\theta_v$  为卫星天顶角, 表 10 列出 NOAA AVHRR 传感器  $a_0, a_1, a_2$  参数。

表 10 NOAA/AVHRR 传感器  $a_0, a_1, a_2$  参数

Table 10 Coefficient  $a_0, a_1$  and  $a_2$

星号	参数	可见光波段			近红外波段		
		$a_0$	$a_1$	$a_2$	$a_0$	$a_1$	$a_2$
NOAA-12		1.0870	-0.18890	-0.21791	1.0606	-0.15965	-0.13464
NOAA-14		1.086645	-0.188455	-0.216548	1.059869	-0.158653	-0.132636
NOAA-16		1.085435	-0.188385	-0.215848	1.053779	-0.157963	-0.1320046

### 3.4.4 大气散射 $\rho_a$ (包括瑞利散射和气溶胶散射)

$$\rho_a = \rho_{ar} + \rho_{ap} \quad (19)$$

其中:  $\rho_{ar}$  为瑞利散射,  $\rho_{ap}$  为气溶胶散射。

$$\rho_{ar} = \tau_r P_r(\xi) / 4 \cos(\theta_s) \cos(\theta_v) \quad (20)$$

其中:  $\tau_r$  分子光学深度, 大气压力调整:

$$\tau_r(P) = \tau_r(P_0) P / P_0,$$

表 11 列出 NOAA AVHRR 传感器  $\tau_r$  参数

$$P_0 = 1013.25 \text{hPa}$$

其中:  $P$  为地表大气压(hPa)。

$$P_r(\xi) = 1.5 \frac{(1-\delta)}{2+\delta} (1 + \cos^2(\xi)) + 3 \frac{\delta}{2+\delta} \quad (21)$$

$$\delta = 0.0139$$

$$\cos(\xi) = -[\mu_s \mu_v + \sqrt{(1-\mu_s^2)(1-\mu_v^2)}] \cos(\Delta\Phi) \quad (22)$$

表 11 NOAA AVHRR 传感器  $\tau_r$  参数

Table 11 Coefficient  $\tau_r$

星号	NOAA-12	
	可见光波段	近红外波段
NOAA-12	0.05345	0.01902
NOAA-14	0.05285	0.01837
NOAA-16	0.05165	0.01877

$$\mu_s = \cos(\theta_s)$$

$$\mu_v = \cos(\theta_v)$$

气溶胶散射  $\rho_{ap}$

$$\rho_{ap} = \frac{1}{\mu_s \mu_v} \left\{ \frac{\Delta \mu_v}{1 + k \mu_v} (1 - \exp(-t_p(1 + k \mu_v) / \mu_v)) + \frac{Y \mu_v}{1 + k \mu_v} (1 - \exp(-t_p(1 - k \mu_v) / \mu_v)) + (Z + P_p(s)) \frac{\mu_s \mu_v}{\mu_s + \mu_v} (1 - \exp(-t_p(1/\mu_s + 1/\mu_v))) \right\} \quad (23)$$

$$K^2 = (1 - w_0)(3 - w_0 \beta_1) \quad (24)$$

其中:  $\beta_1 = 3g/z$  为海拔高度, 单位 km;  $g$  是不对称因子;  $w_0$  是单一散射反照率。表 12 列出 NOAA AVHRR 传感器  $g, w_0$  参数。

表 12 NOAA AVHRR 传感器  $g, w_0$  参数

Table 12 Coefficient  $g, w_0$

星号	可见光波段		近红外波段	
	$g$	$w_0$	$g$	$w_0$
NOAA-12	$5e-7$	0.84397	0	0.60940
NOAA-14	$-2.00e-06$	0.84043	$3.0000e-06$	$6.0210e-01$
NOAA-16	$-1.70e-06$	0.83543	$7.0000e-07$	$6.0010e-01$

$$T_p = a_0 + a_1 \tau_{550}$$

其中： $a_0, a_1$  是不同光谱波段的调整系数。表 13 列出 NOAA AVHRR 传感器  $a_0, a_1$  参数。

$$P_p(\xi) = a_0 + a_1 \xi + a_2 \xi^2$$

其中： $\xi$  为气溶胶二次方程相位角度，单位为度； $a_0, a_1, a_2$  是不同光谱波段的调整系数。表 14 列出 NOAA AVHRR 传感器  $a_0, a_1, a_2$  参数。

表 13 NOAA AVHRR 传感器调整系数  $a_0, a_1$

Table 13 Coefficient  $a_0, a_1$

星号	可见光波段		近红外波段	
	$a_0$	$a_1$	$a_0$	$a_1$
NOAA-12	0.88665	0.63314	0.85088	0.63216
NOAA-14	0.88630	0.63308	0.84933	0.63229
NOAA-16	0.88630	0.63308	0.84933	0.63229

表 14 NOAA AVHRR 传感器调整系数  $a_0, a_1, a_2$

Table 14 Coefficient  $a_0, a_1, a_2$

星号	参数	可见光波段			近红外波段		
		$a_0$	$a_1$	$a_2$	$a_0$	$a_1$	$a_2$
NOAA-12		1.7729	-0.024280	9.2140e-5	1.7279	-0.023318	8.7591e-5
NOAA-14		1.7725	-2.4270e-02	9.2088e-5	1.7251	-2.3270e-2	8.7387e-5
NOAA-16		1.7725	-2.4270e-2	9.2088e-5	1.7251	-2.3270e-2	8.7387e-5

3.4.5 气溶胶光学厚度计算

大气柱气溶胶光学厚度是表征大气浑浊度的一个重要物理量，对遥感信息的大气纠正有重要意义，世界上有少量气象站或大气监测站长期坚持采用光度计测量太阳窄谱直射光强以确定大气柱气溶胶光学厚度。目前在中国尚未对大气气溶胶光学厚度进行系统的观测<sup>[30]</sup>。我们根据一种从地面气象能见度和水汽压信息反演大气柱气溶胶光学厚度的参数化方法<sup>[30]</sup>，综合应用中国 16 个气象站能见度的参数化结果，并利用空间插值方法得到全国范围的气溶胶光学厚度分布，作为 NOAA AVHRR 遥感数据大气纠正的输入参数。

$$\tau_\lambda = \left[ \frac{3.912}{V} - 0.0116 \right] \left[ \frac{0.55}{\lambda} \right] \left[ H_1 \left( e^{-\frac{Z}{H_1}} - e^{-\frac{5.5}{H_1}} \right) + 12.5 e^{-\frac{5.5}{H_1}} + H_2 e^{-\frac{5.9}{H_1}} \right] f \quad (25)$$

其中：

$$V_Z = \frac{3.912}{0.0116 - 0.00099Z + \left[ \frac{3.912}{V} - 0.0116 \right] e^{\frac{Z}{0.886 - 0.0222V}}} \quad (26)$$

$$H_1 = 0.886 + 0.0222V (\text{km}), H_2 = 3.77 (\text{km});$$

$V$  为海平面能见度， $V_Z$  为  $Z$  海拔高度上实际观测能见度，单位为 km； $\lambda$  波长为 0.55(550nm)； $Z$  为海拔高度(km)； $f$  为订正系数：在东北地区： $f = e^{-0.32 + 0.02V}$ ，在其他地区：

$$f = e^{(0.42 + 0.0046P_w + 0.015V_Z) \exp(-0.0047V_Z^2/P_w)} \quad (27)$$

$P_w$  为地面水汽压(非大气压)，单位 hPa。

水汽含量和地面水汽压的对应关系良好，为  $W_{H_2O} = a + bP_w$ ，目前收集到 20 个台站 1992 年整层大气水汽含量与地面水汽压关系式的经验系数  $a, b$ <sup>[30]</sup>，当作本底数据使用，见表 15。

表 15 20 个台站  $a, b$  经验系数

Table 15 Coefficient  $a, b$  of 20 stations

站名	沈阳	北京	大连	太原	郑州	西安	上海	宜昌	福州	桂林
系数 $a$	0.227	0.156	0.118	0.291	0.442	0.294	0.283	0.314	0.763	1.052
系数 $b$	0.181	0.193	0.187	0.183	0.195	0.202	0.289	0.198	0.181	0.172
站名	西沙	额济纳旗	敦煌	民勤	乌鲁木齐	喀什	格尔木	那曲	拉萨	腾冲
系数 $a$	0.995	0.334	0.413	0.289	0.339	0.336	0.097	0.055	-0.024	0.143
系数 $b$	0.151	0.177	0.204	0.185	0.177	0.185	0.182	0.162	0.170	0.190

### 3.5 二向反射模型校正

由于地球表面是非朗伯体, 观测角和太阳角对地表双向反射产生很大的影响, 随着多角度遥感的兴起, 通过二向反射模型反演确定组分波谱参数成为可能。在数据集标准化处理链中, 我们对 NOAA/AVHRR 数据的 1,2 通道进行了“二向反射”纠正<sup>[6,22]</sup>。

利用植被“二向性反射”模型反演确定组分波谱参数, 即将不同角度的反照度按照“二向性反射”模型归一化到 45° 太阳入射角和垂直观测的几何模型, 公式如下:

$$\rho_j(45^\circ, 0^\circ, \phi) = \frac{\Omega_j(45^\circ, 0^\circ, \phi)}{\Omega_j(\theta_s, \theta_v, \phi)} \rho_j(\theta_s, \theta_v, \phi) \quad (28)$$

其中:  $\rho_j(45^\circ, 0^\circ, \phi)$  为反照度纠正结果;  $\rho_j(\theta_s, \theta_v, \phi)$  为纠正前反照度;  $\Omega_j(\theta_s, \theta_v, \phi)$  为“二向性反射”模

型;  $\theta_s, \theta_v, \phi$  分别是太阳天顶角、观测角、相对方位角; “二向性反射”模型为:

$$\Omega_j(\theta_s, \theta_v, \phi) = 1 + \frac{K_{1j}}{C_0} f_1(\theta_s, \theta_v, \phi) + \frac{K_{2j}}{C_0} f_2(\theta_s, \theta_v, \phi) \quad (29)$$

其中:

$$f_1(\theta_s, \theta_v, \phi) = \frac{1}{2\pi} [(\pi - \phi) \cos \phi + \sin \phi] \text{tg} \theta_s \text{tg} \theta_v - \frac{1}{\pi} \left[ \text{tg} \theta_s + \text{tg} \theta_v + \sqrt{\text{tg}^2 \theta_s + \text{tg}^2 \theta_v - 2 \text{tg} \theta_s \text{tg} \theta_v \cos \phi} \right] \quad (30)$$

$$f_2(\theta_s, \theta_v, \phi) = \frac{4}{3\pi} \frac{1}{\cos \theta_s + \cos \theta_v} \left[ \left[ \frac{\pi}{2} - \xi \right] \cos \xi + \sin \xi \right] - \frac{1}{3} \quad (31)$$

$$\cos \xi = \cos \theta_s \cos \theta_v + \sin \theta_s \sin \theta_v \cos \phi \quad (32)$$

表 16, 表 17 给出了上述“二向性反射”模型中各参数、植被指数以及地表覆盖类型之间的关系。

表 16 系数  $K_{1i}, K_{2i}$  与  $C_0, C_1, C_2, C_3, C_4$  及  $NDVI$  的关系<sup>[6]</sup>

Table 16 Coefficient  $K_{1i}, K_{2i}, C_0, C_1, C_2, C_3, C_4$  and their relations with  $NDVI$

可见光波段			近红外波段			
	$K_{0,1}$	$K_{1,1}$	$K_{2,1}$	$K_{0,2}$	$K_{1,2}$	$K_{2,2}$
裸地	$C_0$	$C_1$	$C_2$	$C_0$	$C_1$	$C_2$
耕地	$C_0$	$C_1$	$C_2 NDVI^{0.539}$	$C_0$	$C_1$	$C_2 NDVI^{0.109}$
森林	$C_0$	$C_1$	$C_2 NDVI^{0.153}$	$C_0$	$C_1$	$C_2 NDVI^{-0.105}$
草地	$C_0$	$C_2 e^{-11.39 NDVI}$	$C_2 + C_3 NDVI + C_4 NDVI^2$	$C_0$	$C_2 e^{-22.8 NDVI}$	$C_2 + C_3 NDVI + C_4 NDVI^2$

表 17 不同土地覆盖类型的  $C_0, C_1, C_2, C_3, C_4$  值<sup>[6]</sup>

Table 17 Coefficient  $C_0, C_1, C_2, C_3, C_4$

土地覆盖类型	类型归并	$C_0$	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$
可见光波段						
混合林地	森林	0.05828	0.00341	0.20925		
落叶林	森林	0.05545	-0.00240	0.2412		
变迁林	森林	0.06684	-0.00622	0.29591		
针叶林	森林	0.05162	-0.00467	0.23477		
苔原	草地	0.08440	-0.15325	0.80961	-3.18811	3.72133
裸地	裸地	0.12545	-0.00940	0.22983		
耕地	耕地	0.09099	-0.00685	0.47805	-1.92178	1.96764
牧地	草地	0.08356	-0.18757	0.71560		
人造林	森林	0.10531	0.00876	0.31200		
近红外波段						
混合林地	森林	0.24190	0.04697	0.28928		
落叶林	森林	0.29389	0.06237	0.25694		
变迁林	森林	0.16472	0.00527	0.30519		
针叶林	森林	0.16211	0.01173	0.32175		
苔原	草地	0.17830	-0.13877	0.45717		
裸地	裸地	0.16661	-0.01034	0.34747	-0.9908	1.62401
耕地	耕地	0.28780	0.03106	0.41316		
牧地	草地	0.23194	0.21250	-0.47262	4.46017	-4.56914
人工林	森林	0.25867	0.03542	0.33321		

### 3.6 NDVI 计算

NOAA AVHRR 的通道 1,2 数据经过大气纠正与双向反射模型校正后,其反射率才反映了地表的真实情况,由于数据通过了几何模型的归一化,因此需要重新计算 NDVI,从而获得标准的植被指数。NDVI 结果采用线性方式拉伸至 0—255 范围的 8 位数据中存储,按公式(33)进行计算。

$$NDVI = \left[ \frac{\text{通道 2 地表反射率} - \text{通道 1 地表反射率}}{\text{通道 2 地表反射率} + \text{通道 1 地表反射率}} + 0.1 \right] \times 250 \quad (33)$$

### 3.7 地表温度反演

地表温度是地表物理过程的重要参数,由于地表温度在空间与时间上的变化性,加上遥感的实时、快速、大范围特点,利用遥感手段监测地表温度成了首选方法。由于大气衰减和地表发射辐射等影响,从 AVHRR 数据中提取精确的地表温度比较复杂,有赖于大气校正模型的使用以及考虑地表发射率等因素。一般人们用“劈裂窗”方法提取地表温度,从反演海面温度推广到陆面温度的反演,并提出了“局地劈裂窗法”<sup>[23]</sup>。随后有很多地表温度提取的改进方法,考虑了大气与地表辐射影响,实质上都是“劈裂窗”法的改进<sup>[24,25]</sup>。由于地表各向异性的特征和各种成分发射率的复杂性,地表温度反演还存在许多不确定性(包含定义上的模糊)。在中国陆地 AVHRR 数据集中采用公式(34)进行地表温度的反演, A, B 系数考虑了可见光波段大气影响以及热红外的光谱辐射和发射等因素<sup>[6,24,25]</sup>。

$$T_5 = T_4 + A(T_4 - T_5) + B \quad (34)$$

其中:  $T_4, T_5$  是热红外通道 4,5 的亮度温度;

$$A = (M - P) / 2$$

$$B = A_0 + T_4(P - 1)$$

$$A_0 = 1.274$$

$$P = 1 + 0.15616(1 - \epsilon) / \epsilon - 0.482\Delta\epsilon / \epsilon^2$$

$$M = 6.26 + 3.98(1 - \epsilon) / \epsilon + 38.33\Delta\epsilon / \epsilon^2$$

$$\epsilon = (\epsilon_4 + \epsilon_5) / 2$$

当  $NDVI > 0.2$  时

$$\epsilon_4 = 0.9897 + 0.029 \ln(NDVI)$$

$$\Delta\epsilon = \epsilon_4 - \epsilon_5 = 0.01019 + 0.01344 \ln(NDVI)$$

当  $NDVI < 0.2$  时,可以认为像元是由稀植被覆盖的土壤甚至是裸土组成的,通过把发射率和波段发射率差值与 AVHRR 第 1 波段的反射率  $\rho_1$  联系起来,得到如下关系式:

$$\epsilon_4 = 0.980 - 0.042 \rho_1 \quad \Delta\epsilon = -0.003 - 0.029 \rho_1$$

对于 NOAA-16,使用的是第三代传感器 AVHRR/3,数据有 6 个通道,白天数据增加了一个短波红外波段 3A,波长范围为 1.58—1.64 $\mu\text{m}$ ,所以地表温度反演方法与 NOAA-14 数据有所变化。其中辐射值与亮度温度的计算方法与 NOAA-14 不同,采用双斜距和截距函数来计算第 4 和第 5 通道的辐射值,而后通过普朗克转置函数把第 4 和第 5 通道的辐射值转换成亮度温度。由亮度温度计算地表温度的方法与 NOAA-14 一样,即利用公式(14)的反演算法计算。

### 3.8 数据合成

数据合成是利用大面积、高频率动态卫星遥感影像研究全球环境变化的重要方法<sup>[6,21]</sup>之一,尤其在数据集的建设中更是一种常用的方法。数据合成过程中首先考虑的因素是合成周期大小,主要考虑云的影响周期、地表特征变化周期的基本单位,最普遍的有周、旬、月等,Pathfinder 数据集采用旬为合成周期<sup>[3]</sup>,MODIS 数据集采用 16 日为合成周期<sup>[31]</sup>。数据集建设中我们主要选择旬单位作为合成周期。以旬为周期的合成方法采用最常用的最大 NDVI 法(MVC),该方法不仅能消除一些各向异性的影响,而且能减少云污染像元<sup>[21]</sup>,从而保证合成结果是该周期内最干净的影像。在旬合成过程中首先将每天接收到的数据(2 景或 3 景)拼接成一幅影像,存放到以旬命名的文件目录中,获取到一句数据后,将该旬所有的数据按 NDVI 最大值法合成为一景影像中,得到一张能覆盖到全国的影像数据。在合成过程中要求消除质量不好的数据,如像元值很低的云阴影、像元值为 0 的数据等。合成过程中注意当同一像元有云的 NDVI 比非云 NDVI 值小的时候,恢复非云值(主要是水体),让非云区域尽量保持连续。除了保存以旬为周期的数据成果外,还保留以日为周期的影像数据处理结果(每日 1—3 景影像),合成坐标系统按表 7 进行,空间范围见表 18。

表 18 数据合成空间范围

Table 18 Spatial extent of data composite

	左上角	右下角
X/m	700000.000	6000000.000
Y/m	6000000.000	1700000.000

## 4 参数准备

在大气纠正中,除了 AVHRR 的通道数据作为输入参数,还需要准备多个参数,图 3—图 11 描述



图3 大气纠正输入①:原始 1,2 通道反射率(RGB 组合 1:2:1)  
Fig.3 Raw ch1, ch2

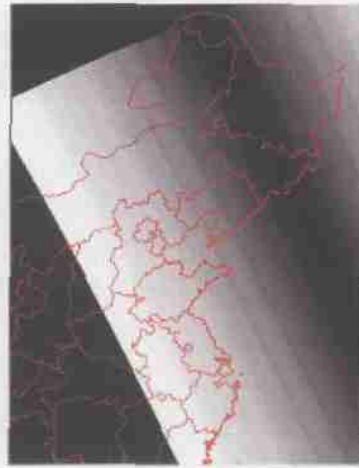


图4 大气纠正输入②:太阳天顶角  
Fig.4 Solar zenith angle

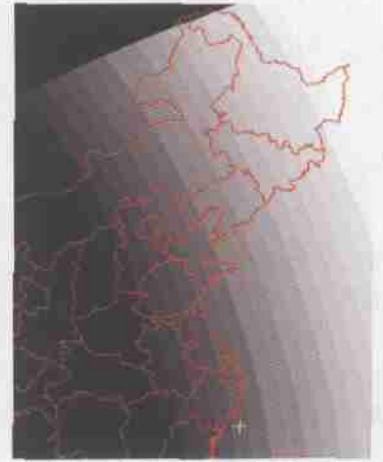


图5 大气纠正输入③:观测角度  
Fig.5 View zenith angle

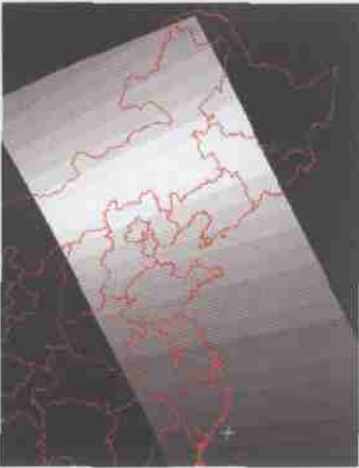


图6 大气纠正输入④:相对方位角  
Fig.6 Relative azimuth angle

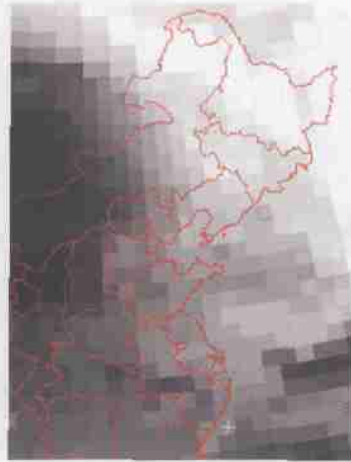


图7 大气纠正输入⑤:臭氧含量  
Fig.7 Ozone content

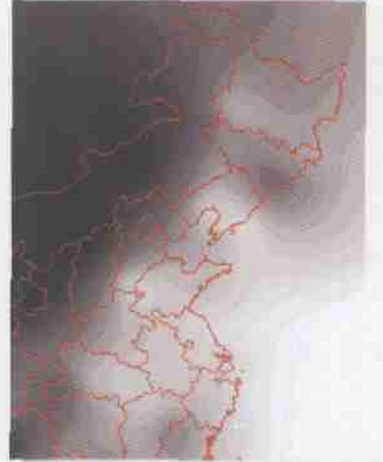


图8 大气纠正输入⑥:大气压  
Fig.8 Atmospheric pressure



图9 大气纠正输入⑦:水气含量  
Fig.9 Water vapor content

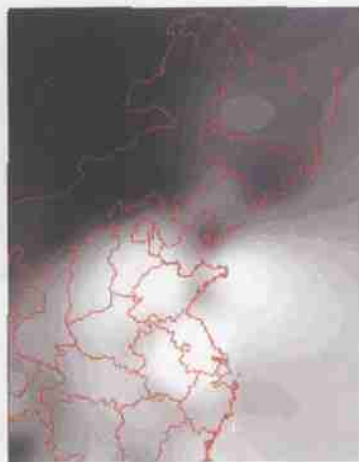


图10 大气纠正输入⑧:光学厚度  
Fig.10 Atmospheric optical depth

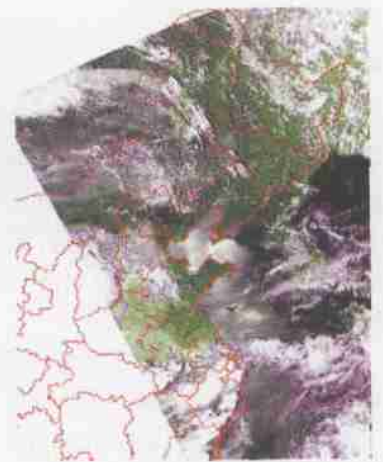


图11 大气纠正输出:1,2 通道地表反射率(RGB 组合 1:2:1)  
Fig.11 Final of ch1, ch2

了大气纠正过程中输入输出的各项参数:水汽含量  $U_{H_2O}$ 、垂直臭氧含量  $U_{O_3}$ 、550nm 气溶胶光学厚度  $\tau_{550}$ 、地表大气压  $P$  与土地覆盖数据。

#### 4.1 气溶胶

气溶胶数据主要是利用水汽压和地面观测能见度反演气溶胶光学厚度(550nm),而水汽压是通过水汽含量和地面水汽压之间的对应关系推算出来。

需要准备逐日(取下午 2 时,考虑与卫星过境时间最接近)每个观测站点的水汽含量数据和能见度数据,经过计算得出该气象站点的气溶胶光学厚度,再经过空间插值,得到空间分布的气溶胶数据,然后与每日的经过几何纠正的 NOAA AVHRR 影像经空间复合后即可参与大气纠正运算。

将原始获得的水汽含量(又称水汽柱)和地面观测能见度数据整理成逐日全国分布表,每个站点带经纬度坐标、海拔高程、水汽压、水汽含量之间的关系  $a, b$ ;通过预处理分析后剔除异常值。由于能见度观测时间并不与卫星过境时间同步,所以取与卫星过境时间最近的下午 2 时的地面观测能见度。利用模型反演出每个站点的汽溶胶光学厚度,然后通过插值把汽溶胶计算结果转换成面状数据,采用与几何纠正相同的坐标系(图 10)。

#### 4.2 水汽含量

从国家气象局购买逐日每个观测站点的水汽含量数据,经过空间插值,得到空间分布的大气层水汽含量数据(图 9),然后与每日的经过几何纠正的 NOAA AVHRR 影像经空间复合后即可参与大气纠正运算。

#### 4.3 大气压

收集逐日所有观测站的地面大气压数据,其中从水利部收集到 1999 年下半年至 2001 年 8 月数据,其他数据则购自国家气象局。经过空间插值,得到空间分布的地面大气压数据(图 8),然后与每日的经过几何纠正的 NOAA AVHRR 影像经空间复合后即可参与大气纠正运算。

如果获得的大气压是海平面气压,则需要先转换到地面气压,其公式为:单位为 Pa。

$$P_s = P_{s0}(1 - \text{Altitude}/44331.0)^{(1/0.1903)}$$

大气压数据经过空间插值转换成面状数据。

#### 4.4 臭氧

下载逐日全球尺度(50km)的大气层臭氧含量数据<sup>[32]</sup>,其原始数据格式为 ept 文本,需要先转换成标准文本格式,再读取该文本格式的图像数据,并赋予经纬度坐标及坐标系(图 7)。与每日的经过几何纠正的 NOAA AVHRR 影像经空间复合后即可参与大气纠正运算。臭氧单位是 atm·cm,当反演使用时需要除以 1000。卫星覆盖的原因导致该数据经常出现空洞,采用最邻近法对空洞部分进行填补。

#### 4.5 土地覆盖数据准备

在双向反射模型纠正中,需要利用土地覆盖数据制作本底数据,国内部分采用 1:100 万的土地利用数据<sup>[33]</sup>,国外部分采用 IGBP 全球土地覆盖数据<sup>[34]</sup>,两种类型的数据统一转换成五大类(森林、草地、耕地、裸地、水体),及每一大类相对应的小类土地覆盖数据,用于二向反射模型的纠正(图 12)。

### 5 处理流程

数据处理的总体流程如图 13 所示。

**数据购置** NOAA AVHRR 1B 数据从中国科学院遥感应用研究所的 NOAA AVHRR 地面接收站购置,每天下午利用“Crystal FTP Free”渠道从接收站下载原始的 1B 数据,并进行备份。定期检查所购置数据的完整性,不足部分及时补齐。以“Crystal FTP Free”方式下载数据时,如果文件太大,会出现一个文件一直在拷贝,无法结束的情况,出现这种情况时,改用 FTP 方式。将每月的数据存入一个文件目录,并集中管理。

**质量检查** 用 PCI 软件直接读取下载的 NOAA AVHRR 1B 数据,检查是否所有的 1B 数据都能有效利用,数据的噪声程度与掉线有多少,最后确定哪些数据有效?哪些数据无效?将能有效利用的数据存放在一个固定的文件目录,无效的数据则直接删除。NOAA-16 质量检查还包括 1B 数据的导入以及利用 HPRT 工具读取标定参数并修改其文本段。

**数据准备** 主要准备大气纠正过程中所需要输入的各项参数:水汽含量  $U_{H_2O}$ 、垂直臭氧含量  $U_{O_3}$ 、550nm 气溶胶光学厚度  $\tau_{550}$ 、地表大气压  $P$  与土地利用数据。

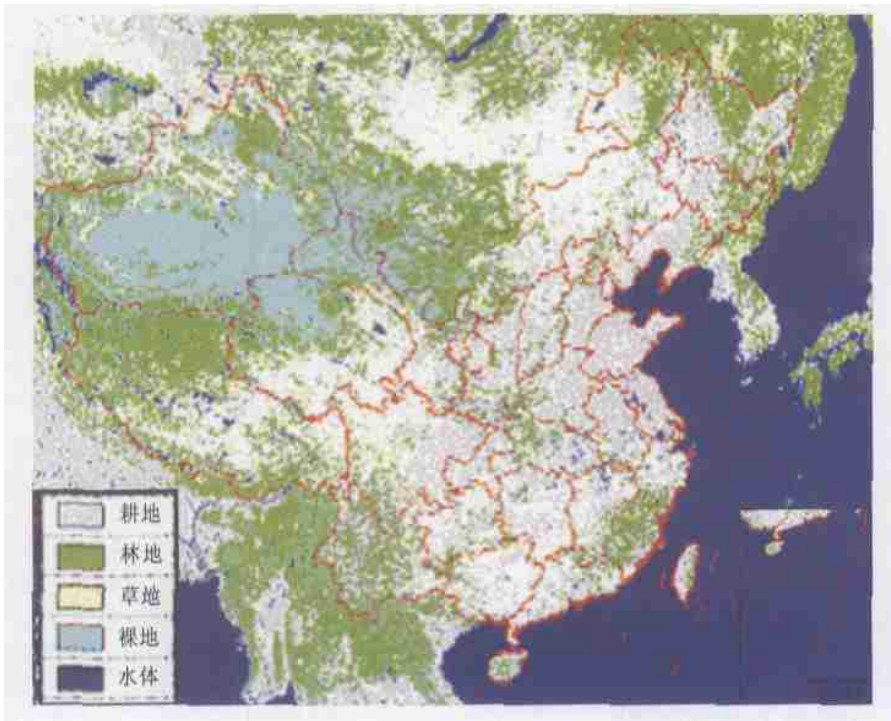


图 12 用于二向反射模型纠正的土地覆盖数据

Fig. 12 Land cover for BRDF

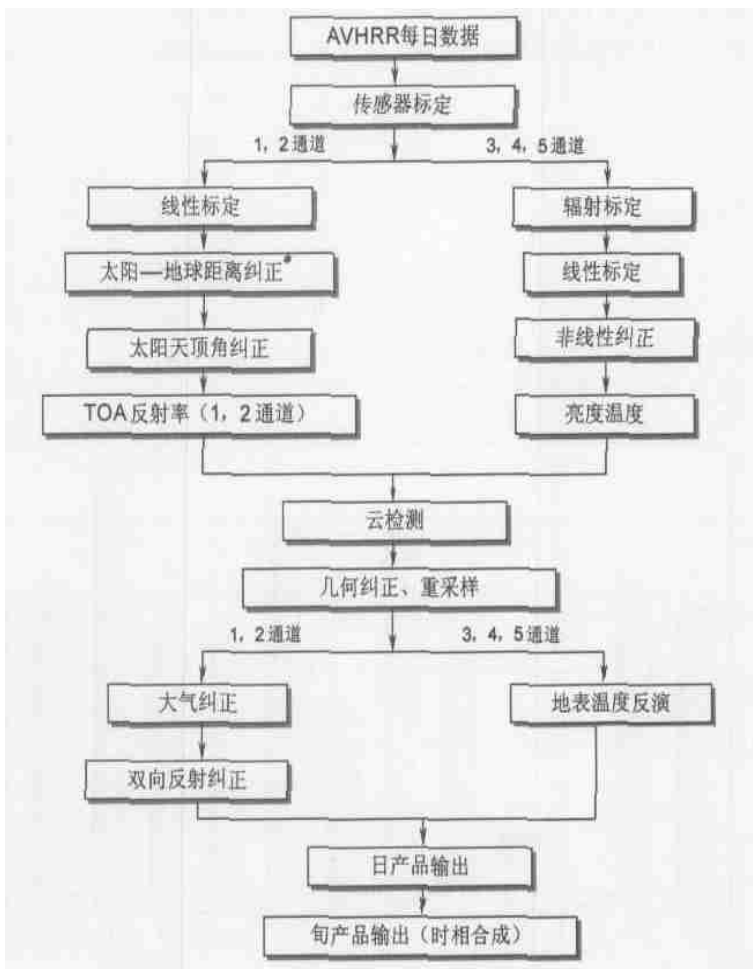


图 13 NOAA AVHRR 数据处理总体流程

**基本处理** 包括定标、辐射纠正、几何纠正,传感器衰减,云检测等,这些工作已经规范化成一个程序,只需通过命令就可以完成以上几项基本的处理过程,操作人员只需检查是否临时中断就可以。

**大气纠正** 利用每日的大气压、水汽柱、能见度等信息反演大气参数,输入到大气纠正算法中进行像素级的大气校正。将大气纠正算法编译成程序,执行大气纠正程序就可以完成大气纠正这一步骤,达到清除辅助数据通道的目的。

**双向反射纠正** 利用植被“二向性反射”模型反演确定组分波谱参数,即将不同角度的反照度按照“二向性反射”模型归一化到  $45^\circ$  太阳入射角和垂直观测的几何模型,执行双向反射纠正程序,达到清除土地利用通道的目的。

**地面温度反演** 用“劈裂窗”方法反演地面温度,增加一个波段,用于地表特征参数的提取。

**备份** 把每景数据用 winzip 压缩,一个文件压缩成一个压缩包,每日的数据存放在一个文件目录中。

**合成与输出** 将每日的数据以旬为周期合成,并输出到固定的目录,一个月的数据存放在一个文件目录中。

## 6 结果讨论

### 6.1 数据集内容

本数据集的处理方法已经用于处理 13 年(1991—2003 年)的 NOAA AVHRR 数据,包括 NOAA-

12, -14, -16 多颗气象卫星,传感器涉及 AVHRR/2, AVHRR/3。农情监测实时处理的每日 NOAA AVHRR 数据不断加入到本数据集中,形成稳定和长序列的 AVHRR 数据集。本数据集的建设采用了国际上广泛应用的算法,并对某些算法作了适当的修正,使其适应中国区域环境的特点,尤其在大气纠正过程中对汽溶胶参数的反演采用中国学者自己提出的算法<sup>[30]</sup>。数据集按日产品和旬产品组织(表 19),数据格式是 PCI 软件的数据库结构,该数据结构的优点是能将多种格式的数据存储在一个数据文件当中,包括矢量、不同位数的栅格(如 8 位、16 位、32 位等)、文本等。已经完成的数据量如图 14 所示。

表 19 日、旬数据集产品的格式描述

Table 19 Format description of data production

存储 通道	数据层描述	存储位数	增益比例	偏移量
1	Ch1 地表反射率/%	8	250	0
2	Ch2 地表反射率/%	8	250	0
3	卫星天顶角/ $^\circ$	8	1.0	0
4	太阳天顶角/ $^\circ$	8	1.0	0
5	相关方位角/ $^\circ$	8	1.0	0
6	云标识	—	8	1.0
7	NDVI	—	8	250
8*	日期	索引	8	1.0
9	Ch3 亮度温度/K	16	10.0	0
10	Ch4 亮度温度/K	16	10.0	0
11	Ch5 亮度温度/K	16	10.0	0
12	地表温度/K	16	10.0	0

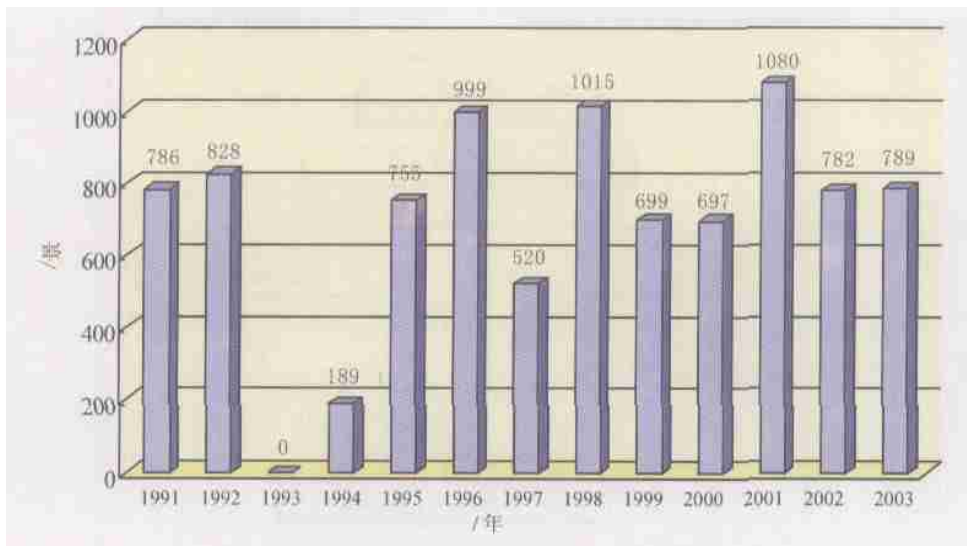


图 14 已完成处理的数据量

表 19 中,旬产品比日产品增加了一个日期索引通道 8(记录合成图像中的数据日期,如像元值 22 则表示该数据取于本月 22 日),因此总通道数有 12 个;旬产品的空间范围是固定的,采用 Albers 坐标系统,系统参数见表 7,数据范围见表 18,日产品是根据地面站接收的每景过境影像数据各自独立存储,没有进行复合,坐标系统与旬产品相同,但由于轨道有漂移,所以日产品的数据空间范围有所变化。

## 6.2 云检测效果

图 15、图 16 是采用改进参数的 CLAVR 方法,对 NOAA AVHRR 影像进行云检测的前后对比。该数据是 2000-07-20 下午过境的 NOAA-14 的 AVHRR/2 数据,位于长江中下游洞庭湖、鄱阳湖平原地区上空,RGB 通道组合方式为 1:2:1。其中图 15 为原始影像的截取窗口,图 16 中将云像元、混合像元用不同层次的颜色(蓝色、粉红色)显示,图 17 为云检测直方图与特征值,经过对比与分析,云识别的效果明显。通过进一步的光谱特征值统计以及直方图分析,该方法在不同地理区域以及对不同的云相,结果稍有差异,但总体上,通过对原始参数进行适当的修正,增强了该方法在中国陆地区域内的适用性。



图 15 原始影像

Fig.15 Raw image

## 6.3 大气纠正效果

图 18、图 19 为 AVHRR 影像数据在大气纠正前后的对比图,是 1999-07-10 下午过境的 NOAA-14 的



图 16 云识别结果(蓝色为云像元、粉红色为混合像元、其他为干净像元)

Fig.16 Cloud detection

AVHRR/2 数据,位于长江中下游洞庭湖、鄱阳湖平原地区上空,RGB 通道组合方式为 1:2:1。图 18 为原始影像截取窗口,图 19 是经过大气纠正(其中云覆盖部分未进行大气纠正)后的图像,图 20 为大气纠正前后无云像元的直方图与特征值。从各图的对比可以看出,纠正后图像清晰,地表特征(尤其是植被)更加突出,有效消除了水汽和气溶胶的影响。第 1 波段反射率减少明显,平均值从原来的 0.1569 减少到 0.0989,减少了 37%,而标准差却从 0.0347 增加至 0.0633;第 2 波段的反射率增加,平均值从原始图像的 0.2489 增加到 0.4461,增加了 79%,标准差从 0.0446 增加到 0.0930。

图 20 表明通过大气纠正,无云像元反映地表差异的特征更加突出。第 1 波段平均值降低表明大气纠正消除了天空光的影响,标准差的增加表明地面特征的差异得到更好的表达;第 2 波段平均值的增加表明地物的植被为主导,经过大气纠正后得到了强化,标准差的增加说明了地表地物的多样性。

## 6.4 双向反射纠正效果

图 21、图 22 为东北某地区 AVHRR 影像进行双向反射模型纠正的效果对照,是 2000-08-05 下午过境的 NOAA-14 的 AVHRR/2 数据,位于东北地区的内蒙古东部、黑龙江省以及吉林省,下垫面主要为森林覆盖,RGB 通道组合方式为 1:2:1。图 21 为大气

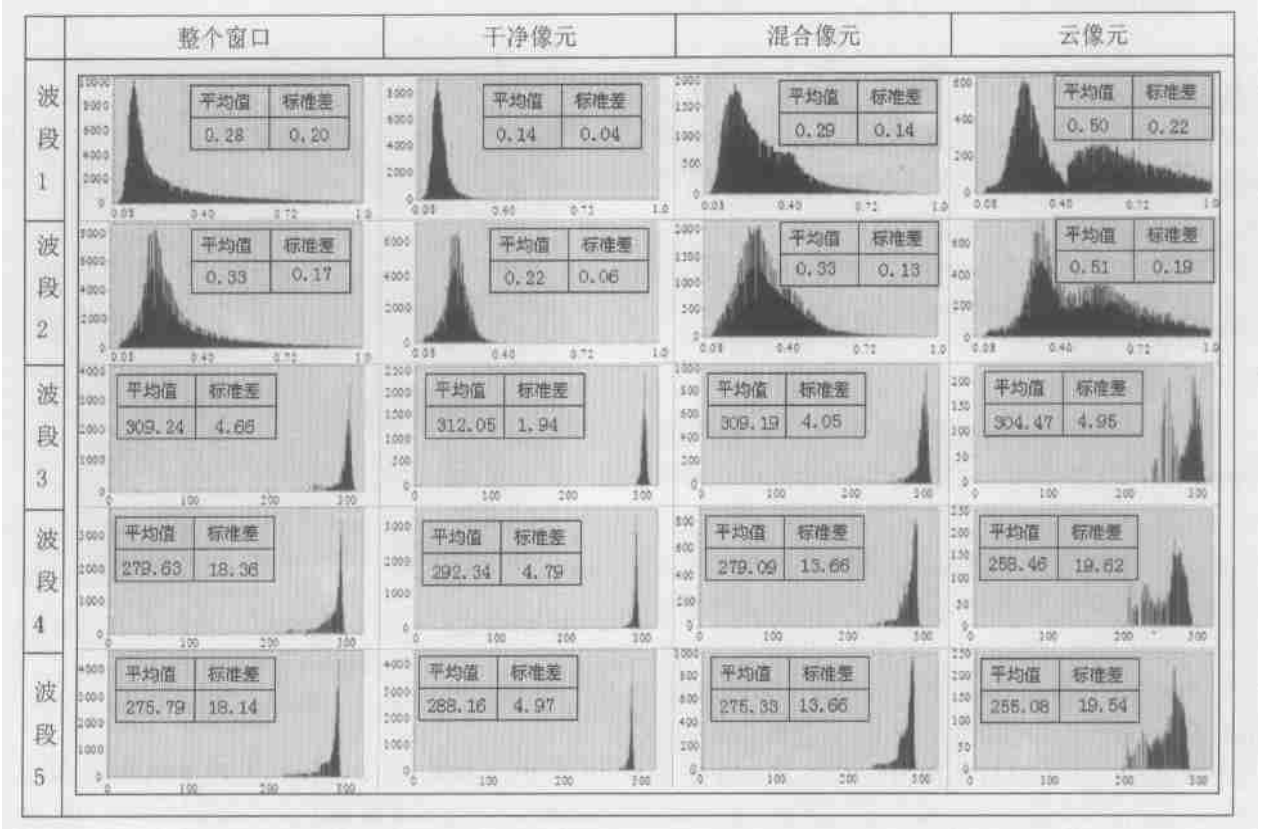


图 17 云检测直方图与特征值

Fig.17 Histograms and statistics of cloud detection



图 18 原始影像  
Fig.18 Raw image



图 19 大气纠正结果  
Fig.19 After atmosphere correction

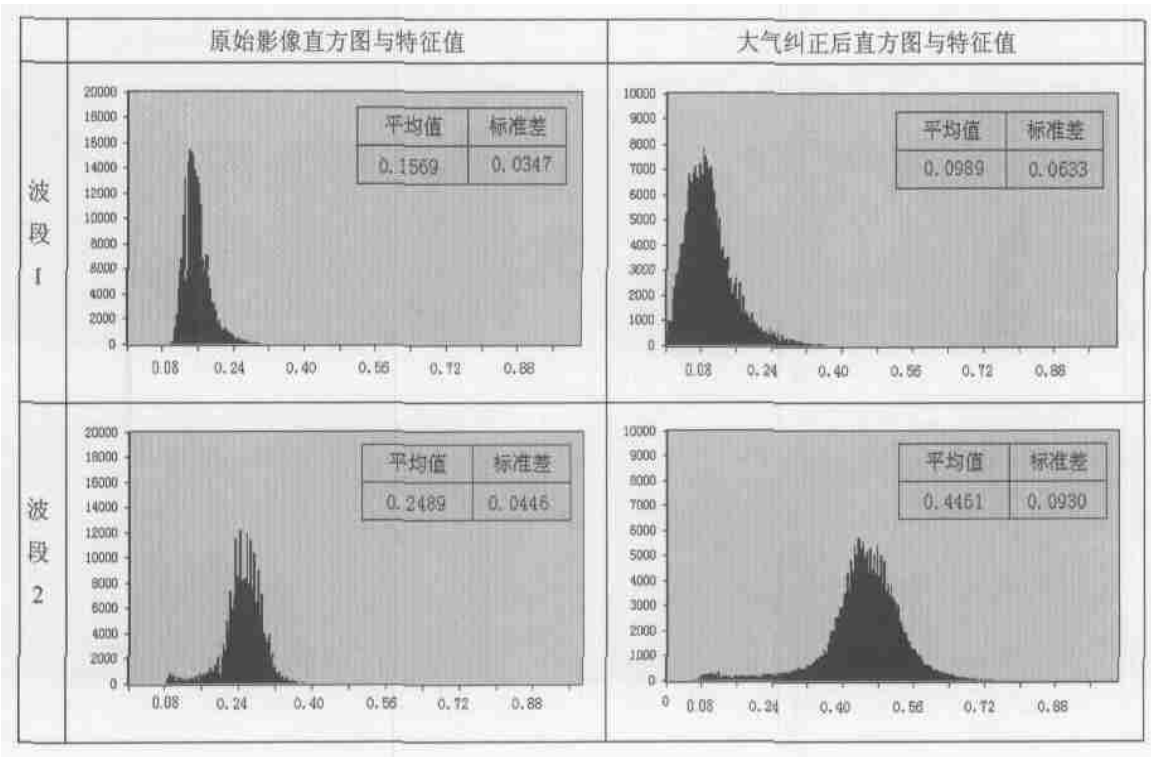


图 20 大气纠正前后直方图与特征值

Fig.20 Histograms and statistics before and after atmosphere correction



图 21 大气纠正影像

Fig.21 After atmosphere correction

通河、木兰、宾县以及铁力、庆安、绥化地区,尤其是河流形状在放大后更加清晰可见。从直方图与特征值图中可以看出,两个波段的平均值和标准差均有不同程度的减少,第 1 波段的均值减少了 5%,第 2 波段的均值减少了 11%,标准差减少了 8%,说明双向反射纠正的效果是比较好的,能够消除由于双向反射纠正引起的信息偏差。



图 22 双向反射纠正结果

Fig.22 After BRDF correction

纠正结果,图 22 为大气纠正后进行双向反射模型纠正后结果,图 23 为双向反射纠正前后直方图与特征值。通过各图对比可以看出,双向反射模型纠正效果比较明显,图像质量有所增强,地物特征分布突出,尤其是图中 3 个红圈标示出的地方纠正效果非常显著,分别位于内蒙古的通辽、开鲁地区、黑龙江

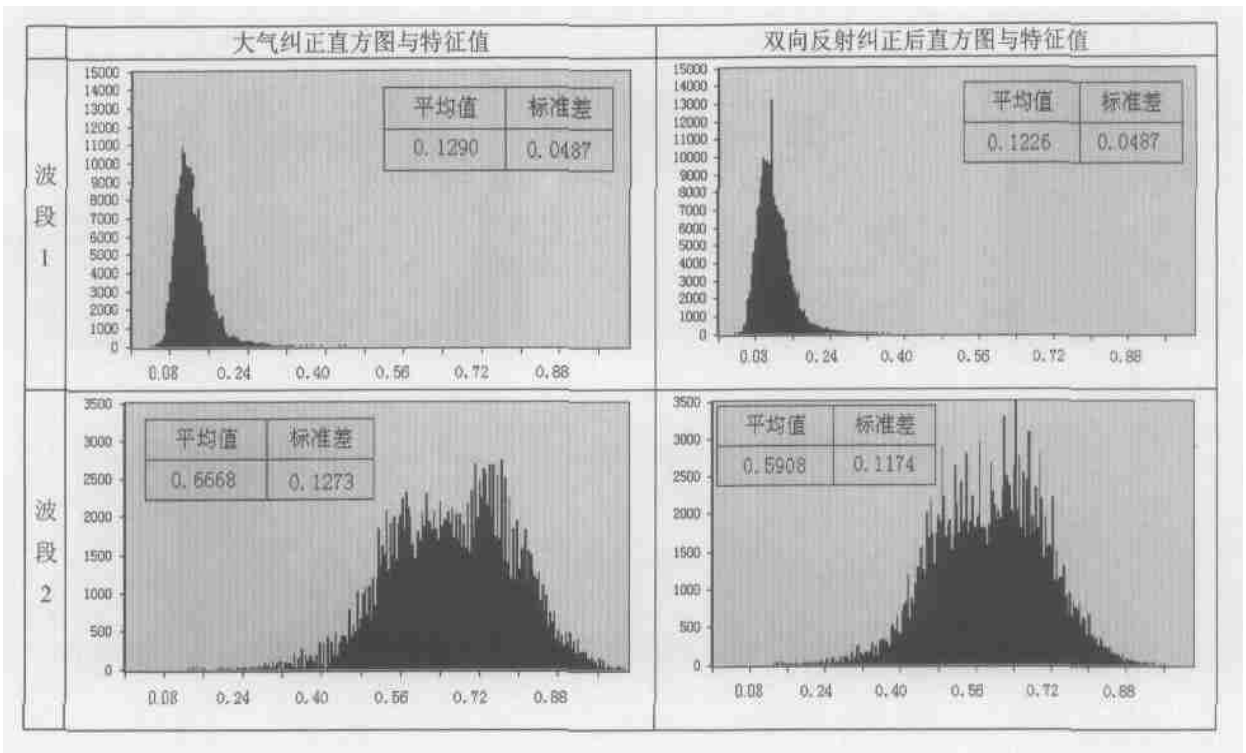


图 23 双向反射纠正前后直方图与特征值

Fig.23 Histograms and statistics before and after BRDF correction

### 6.5 合成结果

经过标准处理形成的旬合成的 NDVI 数据如图

24 所示,从图中看出,多时相数据的复合有效降低了云覆盖影响,增强了数据的可用性。

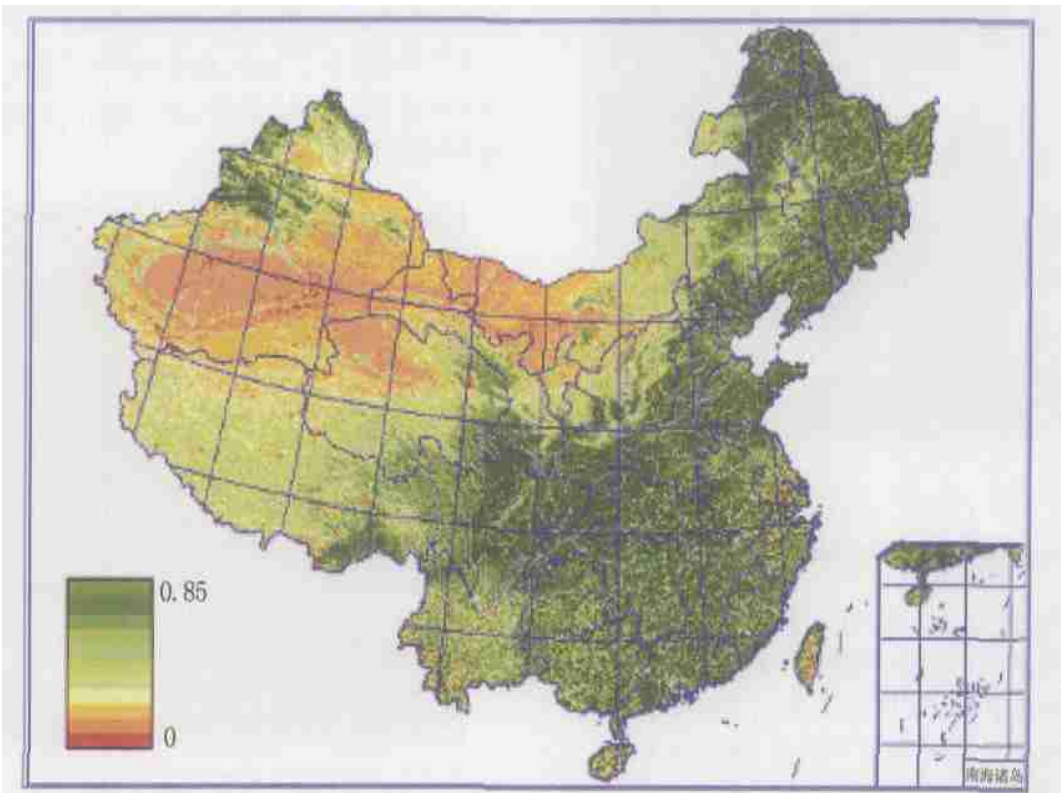


图 24 1999 年 7 月上旬 NDVI

Fig.24 MVC NDVI of first ten days, July 1999

## 7 结 论

本文总结了中国陆地 1km AVHRR 数据集采用的处理方法,形成了从数据获取、数据标定、云检测、几何配准、大气纠正、二向反射纠正、NDVI 计算、地表温度反演、数据合成等标准化、系统化的数据处理流程。文中还详细说明了大气纠正过程中输入输出的各项参数:气溶胶、水汽含量、大气压、臭氧与土地覆盖数据的准备过程。

到目前为至,采用本文中的方法已完成了 13 年的 NOAA AVHRR 数据处理,生成中国陆地范围的 1km AVHRR 数据集(IRSACROP 数据集),并结合中国农情遥感速报系统的运行实现了数据集的动态更新。

本数据集主要应用于本数据集的建设采用国际标准算法,并结合中国区域环境的特点进行了特定的修正,为中国资源与生态环境领域的监测工作提供遥感基础信息产品。中国农情遥感速报系统中的农作物长势监测、旱情监测和作物产量预测,还可以用于地表反照率估算、热量平衡模型计算,陆地地表植被动态变化、监测森林火灾、森林燃料潜力的监测,地表水体制图、雪覆盖制图等。

## 参 考 文 献 (References)

- [ 1 ] Xu J M. The Development and Prospect of Remote Sensing Applications for NOAA/AVHRR Satellite in Nonmeteorological field [A]. New Progress and Development Strategy of Remote Sensing [C]. Beijing: Chinese Science and Technology Press, 1996. [许健民. 中国气象卫星非气象领域遥感应用的发展与展望[A]. 遥感新进展与发展战略[C]. 北京: 中国科学技术出版社, 1996.]
- [ 2 ] Eidenshink J C. The 1990 Conterminous U.S. AVHRR Data Set [J]. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1992, **58**(6): 809—813.
- [ 3 ] Eidenshink J C. 1-km AVHRR Global Land Dataset: First Stages in Implementation [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1994, **15**(17): 3443—3462.
- [ 4 ] <http://noaasis.noaa.gov/NOAASIS/ml/genlsatl.html>
- [ 5 ] <http://www.saa.noaa.gov/>
- [ 6 ] Josef Cihlar, Ly Hung. Multitemporal, Multichannel AVHRR Data Sets for Land Biosphere Studies: Artifacts and Corrections [J]. *Remote Sensing of Environment*, 1997, **60**(1): 35—57.
- [ 7 ] James M E, Kalluri S. The Pathfinder AVHRR Land Data Set: An Improved Coarse Resolution Data Set for Terrestrial Monitoring [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1993, **15**(17): 3347—3364.
- [ 8 ] Malingreau J P, Belward A S. Recent Activities in the European Community for the Creation and Analysis of Global AVHRR Data Sets [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1994, **15**(17): 3397—3416.
- [ 9 ] Townshend J R G, Justice C O, Skole D, et al. The 1-km AVHRR Global Data Set: Needs of the International Geosphere Biosphere Program [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1994, **15**(17): 3319—3332.
- [ 10 ] Stowe L L, McClain E P, Carey R, et al. Global Distribution of Cloud Cover Derived from NOAA/AVHRR Operational Satellite Data [J]. *Adv. Space Research*, 1991, **11**(3): 51—54.
- [ 11 ] Coakley J A, Chang F L, Stowe L L. Differences in Cloud Properties Retrieved Using CLAVR and the Spatial Coherence Method as Candidate Pathfinder Cloud Algorithms [A]. *AMS 7th Conference on Satellite Meteorology and Oceanography* [C]. 1994.
- [ 12 ] Stowe L L, Davis P A, McClain E P. Scientific Basis and Initial Evaluation of the CLAVR-1 Global Clear/Cloud Classification Algorithm for the Advanced Very High Resolution Radiometer [J]. *Atmos. & Oceanic Tech.*, 1999, **16**(6): 656—681.
- [ 13 ] Stowe L L, McClain E P, Carey R, et al. Global Distribution of Cloud Cover Derived from NOAA/AVHRR Operational Satellite Data [J]. *Adv. Space Research*, 1991, **11**(3): 51—54.
- [ 14 ] Vemury S, Stowe L, Anne V. AVHRR Pixel Level Clear-Sky Classification Using Dynamic Thresholds (CLAVR-3) [J]. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 2001, **18**(2): 169—186.
- [ 15 ] Walter G Planet. Data Extraction and Calibration of Tiros-N/NOAA Radiometers [R]. NOAA Technical Memorandum, NESS 107-Rev-1, U.S. Department of Commerce, Appendix C. 1988.
- [ 16 ] Felix R Hoots, Ronald L Roehrich, Models for Propagation of NORAD Element Sets [R]. Spacetrack Report No. 3, December 1980.
- [ 17 ] <http://celestrak.com/>
- [ 18 ] Wu B F. A Simplified Method of Accurate Geometric Correction for NOAA AVHRR 1B Data [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1997, **18**(8): 1795—1808.
- [ 19 ] Rahman H, Dedieu G. SMAC: A Simplified Method for the Atmospheric Correction of Satellite Measurements in the Solar Spectrum [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1994, **15**(1): 123—143.
- [ 20 ] Marc Leroy, Dedieu G, Roujean J L, et al. Improved Atmospheric Corrections and Data Compositing Methods for Surface Reflectance Retrieval [R]. CESBOR Report, 1998.
- [ 21 ] Holben B N. Characteristics of Maximum Value Composite Images from Temporal AVHRR data [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1986, **7**(9): 1417—1434.
- [ 22 ] Roujean J L, Leroy M, Deschamps P Y. A Bidirectional Reflectance Model of the Earth's Surface for the Correction of Remote Sensing Data [J]. *Journal of Geophysical Research*, 1992, **20**(18): 455—468.
- [ 23 ] Becker F, Li Z L. Towards a Local Split-Window Method over Land Surfaces [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1990, **11**(3): 369—393.
- [ 24 ] Coll C, Caselles V, Sobrino J A, et al. On the Atmospheric Dependence of the Split-Window Equation for Land Surface Temperature [J]. *International Journal for Remote Sensing*, 1994, **15**(1): 105—123.

- [25] Van de Griend·Owe M· On the Relationship Between Thermal Emis- sivity and the Normalized Difference Vegetation Index for Natural Sur- faces [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1993, **14**(6): 1119—1131.
- [26] Rao C R N· Revised Post-launch Calibration of the Visible and Near- infrared Channels of the Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) on the NOAA-14 Spacecraft [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1999, **20**(18):3485—3491.
- [27] <http://www2.ncdc.noaa.gov/docs/intro.htm>
- [28] Liu C L, Wu B F· Application of Cloud Detection Algorithm for the Advanced Very High Resolution Radiometer [J]. *Journal of Remote Sensing*, 2004, **8**(6): 677—687. [NOAA AVHRR 云标识技术的应用分析[J]. 刘成林, 吴炳方 遥感学报, 2004, **8**(6): 677—687.]
- [29] Berthelot B, Adam S, Dedieu G, *et al*· A Global Dataset of Surface Reflectances and Vegetation Indices Derived from AVHRR/GVI Time Series for 1989—1990; the Land Surface Reflectances (LASUR) Da- ta [A]. 7th International Symposium Physical Measurements and Sig- nature in Remote Sensing[C]. 1997, 685—690.
- [30] Chen S P· Mechanism of Remote Sensing Information· Beijing Sci- ence Press, 1998 [M]. [陈述彭· 遥感信息机理研究[M]. 北 京: 科学出版社, 1998.]
- [31] Christopher O Justice· The Moderate Resolution Imaging Spectro- radiometer (MODIS): Land Remote Sensing for Global Change Re- search [J], *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 1998, **36**(4): 1228—1249.
- [32] <ftp://toms.gsfc.nasa.gov/pub/eptoms/data>
- [33] Liu J Y· Macro-scale Survey and Dynamic Study of Natural Re- sources and Environment of China by Remote Sensing[M]. Beijing: Chinese Science and Technology Press, 1996. [刘纪远, 中国资源 环境遥感宏观调查与动态研究[M]. 北京: 中国科学技术出 版社, 1996.]
- [34] Belward Alan S, John E Estes, Karen D Kline· The IGBP-DIS Glob- al 1-km Land-Cover Data Set DISCover: A Project Overview [J]. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1999, **65**(9): 1013—1020.

## China Territory 1km AVHRR Dataset

WU Bing-fang, LIU Cheng-lin, ZHANG Lei, LI Miao-miao, HUANG Hui-ping, YE Nan  
(*Institute of Remote Sensing Applications, CAS, Beijing 100101, China*)

**Abstract:** Scientific investigations indicate that global change information can be derived from the 1 km advanced very high resolution radiometer (AVHRR) data from NOAA satellite series. This paper describes the processing chain of China territory 1-km AVHRR dataset and its applications. Twelve years of AVHRR raw data from 1991 to 2003 have been collected. A dataset of over 9000 AVHRR raw images has been archived. These images cover China territory and the sensor includes AVHRR/2 and AVHRR/3 from NOAA-12 to NOAA-16. The processing algorithms are solicited and applied to the dataset to produce prototype and operational high level products for regional geo-science research.

The processing chain uses an improved calibration method, which accounts for sensor degradation, and uses the SMAC (Simplified Method for Atmospheric Correction) method for atmospheric correction of the reflectance measured in AVHRR chan- nels 1 and 2. The ozone data comes from TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer) daily measurements, the daily water vapor and surface pressure are obtained from the CMA (China Meteorological Administration) and the daily aerosol optical depth at a wavelength of 550 nm is retrieved from the ground visibility using a parameterization method. The BRDF correction in AVHRR imagery is performed and the parameters required is derived from the 1:1,000,000 scale land cover types of China.

For cloud detection, the CLAVR algorithm is applied but some parameters are modified for China territory, it uses all five AVHRR channels to estimate cloud cover through a series of tests and the tests are done sequentially using threshold values.

LST (Land Surface Temperature) is determined using semi-empirical method (the split window method) and separately accounting for atmospheric attenuation and soil emissivity. Daily data are composed with MVC (Maximum NDVI Composite of 10 days NDVI data).

The processing chain outputs are surface reflectance in channel 1 and 2, brightness temperature in channels 3-5, cloud (contaminated pixel) mask associated with each pixel, land surface temperature, and NDVI. The dataset products have been used for various studies like crop condition monitoring.

**Key Words:** time series dataset; China territory; AVHRR