

# NOAA - AVHRR 资料反演地温与 地面实测值的对比分析

廖顺宝, 马琳, 岳燕珍, 李泽辉

(中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

**摘要:** 对遥感反演和地面实测 2 种方法获得的地温数据进行对比。首先,用 NOAA - AVHRR 第 4、5 波段数据和 NASA Path finder 地温计算模型计算出中国 1999 年 1 月的最高月地温;然后,将其与同期 267 个气象站的实测月最高地温值进行比较。结果为:遥感反演地温与地面实测月最高地温的线性相关系数为 0.86,标准差为 5.6,反演值比实测值平均偏低 2.8。用实测地温数据对遥感反演地温值进行线性修正,修正后的反演值与实测值的线性相关系数为 0.86,标准误差由修正前的 5.6 变为 5.2,平均误差由修正前的 4.9 变为 4.1,平均偏低值由修正前的 2.8 变为 0.1。修正后的遥感反演地温与实际值更加接近。

**关键词:** 遥感;地温;地面观测;对比;分析

**中图分类号:** TP 79: P 468.0<sup>+</sup>21 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001 - 070X(2004)01 - 0019 - 04

## 0 引言

地表温度既是重要的气象和生态环境要素,也是地球能量和水分平衡最重要的环境参数之一。精确的地表温度在生态、环境、水文、生物地球化学以及农业气象中有重要的应用价值。地面温度的获取方法一般包括 2 种:一是通过传统的地面观测站实地观测;二是通过热红外波段遥感数据进行反演。目前,利用遥感方法获取地面温度一直处于研究和探讨之中<sup>[1~6]</sup>。

传统大气校正法计算地温的原理是:首先,用遥感器所观测到的热辐射总量减去大气对地表热辐射的影响,得到地表热辐射强度;然后,将该辐射强度转化为相对应的地表温度。由于大气对地表热辐射影响的计算误差较大,使地表温度的计算误差一般大于 3。覃志豪,等<sup>[1]</sup>对用陆地卫星 TM6 波段数据通过单窗算法演算地表温度方法进行了探讨,但由于要获得与之对应的地面实测地温数据(用于方法的验证)极为困难(主要是由于卫星过境时间极短)以及获取这种数据集的价格非常昂贵,到目前为止,还未见到有关 TM 热红外波段的地面温度数据集发表。相对 TM 数据而言,利用 NOAA - AVHRR 数据计算地表温度一般采用 2 个热红外波段数据。

## 1 基于 NOAA - AVHRR 的地温计算方法

### 1.1 数据预处理

研究中所使用的遥感信息源是由国家卫星气象中心提供的 1999 年 NOAA - AVHRR 的 5 个波段数据。遥感数据预处理内容包括:

(1)几何精校正。对每日、每轨图像进行几何精校正,其目的是消除几何畸变,赋予每个像元准确的空间位置。使用地面控制点校正方法,根据不同地形,每轨图像选择 16~30 个地面控制点(GCP)。

(2)去除坏线。去除每日、每轨图像上的坏线。具体方法是:检查坏线部分像元值变化范围,用其邻近像元值代替,或者直接赋予零值。用 ENVI 3.4 相关功能,分别把坏线、噪音设为感兴趣区,根据不同情况分别除掉(设为空值)。

(3)除云。云层的光谱特征与一般地物的光谱特征有明显差异,根据差异,把有云覆盖与无云覆盖区分开,去除云覆盖部分的图像。

### 1.2 地温计算模型

采用的遥感地温计算模型为美国 NASA Path finder 数据集官方推荐公式,其表达式为

$$T_s = [T_4 + 3.33(T_4 - T_5)]0.99 + 0.0075 T_5 \quad (1)$$

式中,  $T_s$  表示地面温度;  $T_4$ 、 $T_5$  分别代表 AVHRR 第 4、第 5 波段的亮度温度。计算结果为地面 0 m 处的温度,单位为 K 氏温度。

在利用上述模型计算每日地温的基础上,进行旬地温和月地温的合成。合成方法为:对每旬的所有地温影像两两比较,选出  $T_s$  最大的值作为本旬的  $T_s$  计算结果;月度合成是在旬合成的基础上,按相同方法进行,最后,将处理结果的单位由 K 转换为  $^{\circ}\text{C}$ ,以便于同实测值进行分析和比较。

## 2 实测地温数据的处理

实测地温的原始数据为 1999 年全国 267 个气象站每日 4 次(2 时、8 时、14 时和 20 时)0 m 深度的地温观测值和每日观测的最大和最小值(由中国气象局提供),共 6 个指标项。为便于与遥感反演获得的月地温数据进行对比分析,需要首先将每日 4 次观测数据合成每日的平均地温,在此基础上,通过求平均值计算每月的平均地温,同时计算每个观测站的月最高地温(在每个月的每日最高地温值中取最大值)和每月 14 时的最高地温值(在每个月的每日 14 时地温值中取最大值)。

## 3 遥感反演地温与实测值的对比分析

### 3.1 计算结果与实测值的比较

根据地面观测站的地理位置(经、纬度),利用 ENVI 图像处理软件查询出相应位置的基于遥感数据反演出的地面温度数据,具体操作方法为:

第 1 步,把所有观测站的地理坐标保存在一个 ASC II 文件中,每个站的坐标占用一行,每行两个数据,即气象站经度和纬度;

第 2 步,在 ENVI 软件中打开一个基于遥感数据计算的地温数据文件,在 IMAGE 窗口选择 tools region of interest define region of interest,进入 ROI TOOL 窗口;

第 3 步,在 ROI TOOL 窗口中选择 ROI-Type 菜单项,并选中 [ \* ] POINT 子菜单,再选择 Input Points From Ascii,读入第一步生成的 ASC II 坐标文件;

第 4 步,在 ROI TOOL 窗口中选择 FILE 菜单下的 Output ROIs TO ASC II 子菜单,新生成另外一个 ASC II 文件,该文件包含各气象站的地理坐标和相应位置的地面温度值。

根据气象站编码,将地面实测获得的 1999 年 1 月平均地温和最高地温数据与遥感反演地温数据一一对应,在 EXCEL 中分别分析遥感反演地温与月平均地温和月最高地温的关系,结果如图 1 和图 2 所示。

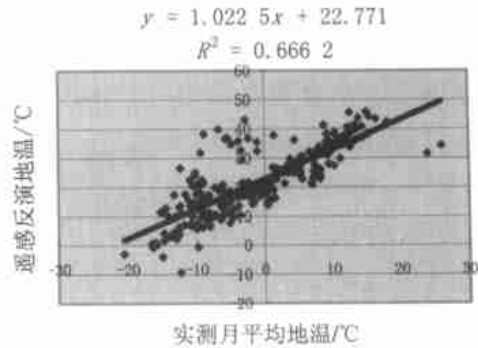


图 1 遥感反演地温与实测月平均地温的关系

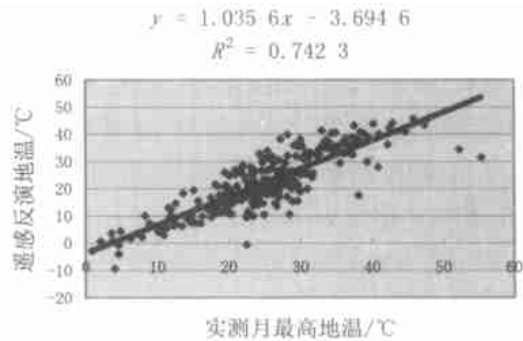


图 2 遥感反演地温与实测月最高地温的关系

由图 1 可见,遥感反演地温值与地面观测的月平均地温值的线性相关系数为 0.82,说明通过遥感数据计算获得的地温与实际月平均地温值具有显著的相关关系,但反演值普遍偏高,平均误差(偏高)为 22.8  $^{\circ}\text{C}$ ,且随着温度的升高,误差略有增加;由图 2 发现反演地温值与地面实测月最高地温值的线性相关系数为 0.86,标准差为 5.6  $^{\circ}\text{C}$ ,平均误差为 4.9  $^{\circ}\text{C}$ ,反演值大部分比实测值偏低,平均偏低 2.8  $^{\circ}\text{C}$ 。

这里,平均误差的计算公式为

$$E_m = \frac{\sum_{i=1}^n |T_{s1} - T_{s2}|}{n} \quad (2)$$

式中,  $E_m$  为平均误差;  $n$  为地面观测站数量;  $T_{s1}$  为遥感反演地温值;  $T_{s2}$  为实测地温值。

### 3.2 进一步分析

通过上述对比分析可以看出,遥感反演获得的地温与地面实测的月平均地温有很大的差距,平均误差为 22.8  $^{\circ}\text{C}$ ;与实测的月最高地温的平均误差为 4.9  $^{\circ}\text{C}$ ,平均偏低 2.8  $^{\circ}\text{C}$ 。这说明,遥感反演地温值与实测月最高地温值更接近,这主要与卫星过境的时

间以及月地温的合成方法有很大关系。

首先,NOAA - 16 卫星过境时间为 12 时至 14 时,而一天中地温最高值一般出现在 14 时左右,图 3 所示的每月 14 时最高地温与每月最高地温的关系(相关系数 0.97,标准误差 2.1)充分证明了这一点。因此,从理论上说,遥感反演的地温数据从理论上说也应当与最高地温值接近;再者,在用每日地温合成每月地温的过程中,是取温度的最大值而不是平均值,因此,合成的月地温数据应当是月最高地温。虽然这样,遥感反演的最高地温数据与实测的最高地温仍有很大差距,且大部分值比实测值偏低(取绝对值前的平均误差为 - 2.8,取绝对值以后的平均误差为 4.9),偏低的原因之一是遥感反演的地温是 14 时以前的,此时的地温值虽然接近但还没达到最高值。

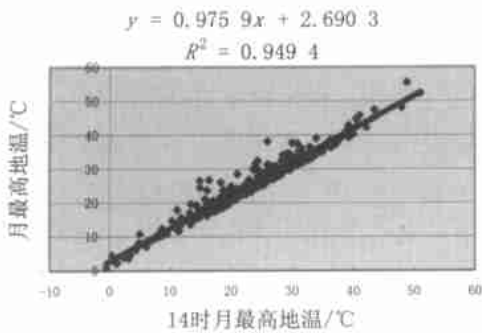


图 3 月最高地温与 14 时月最高地温之间的关系

此外,地温反演值与实测值之间的误差还与中国从东到西地形特征复杂、大气对地表辐射的削弱以及卫星资料与实测资料在时空上难以完全精确配准等诸多因素有关,因此,要使遥感反演的地温数据具有明确的气象学意义或地学意义(如月平均地温、月平均最高地温和月最高地温等),必须用地面观测值对计算结果进行修正,这在一定程度上也是对地温计算模型的改进。

### 3.3 遥感反演地温数据的修正

遥感反演地温和实地观测地温是获得地温数据的 2 种不同方法,二者各有优缺点:遥感方法具有覆盖面广,周期性重复,大范围情况下相对廉价,但精度相对较低等特点;地面实测方法获得的地温数据相对比较准确,但观测点代表的区域范围非常有限,在推算观测站以外地区的数据时,其精度就会降低(例如,1999 年 1 月的月最高地温与经纬度、海拔高度的线性相关系数为 0.91,标准误差 3.9)。因此,如果把 2 种方法结合起来运用,将会发挥各自的优势。

从上述分析发现,不论理论上还是实际计算结果上,通过遥感反演的地温数据都与实测的月最高地温接近,因此,用地面观测的月最高地温来修正遥感反演的地温是较为合理的。

在图 2 中,遥感反演地温与实测月最高地温的线性相关系数为 0.86,当用更高次的方程拟合时,相关系数并无明显上升。因此,为计算简单起见,用线性拟合方程进行修正,即通过公式

$$y = 1.0356x - 3.6946 \quad (3)$$

来反求比较接近实际观测的月最高地温,也即

$$x = 0.965y + 3.5676 \quad (4)$$

在(3)、(4)式中,y 为修正前遥感反演的月最高地温数据;x 为修正后比较接近实际观测值的月最高地温值。修正后的地温数据在总体上与实测月最高地温数据更加一致。具体结果为:修正后的遥感反演月最高地温值与地面实测月最高地温的线性相关系数为 0.86,标准差为 5.2(修正前为 5.6),平均误差为 4.1(修正前为 4.9),反演值比实测值虽然总体上仍略有偏低,但平均偏低仅为 0.1(修正前为 2.8)。

## 4 结论

(1) 用 NOAA - AVHRR 热红外波段数据反演地表最高温度,是遥感技术的一个非常重要、且有前景的应用领域,许多人一直在这一领域进行研究和探讨,但总体情况是,遥感反演的地温数据精度(与地面实测值对比)还并不高,因此,要在较大范围内加工、生产标准的地温数据产品,还有许多工作要做。

(2) 目前,遥感反演还不像地面实测那样可以每天进行几次,因此,要想获取具有明确气象学意义和地学意义(如日平均地温、旬平均地温、月平均地温、月平均最高地温、月最高地温等)的地温数据,必须用相应的地面观测资料对反演结果进行修正,否则,反演结果的精度和应用范围会受到限制。

(3) 由于遥感资料具有覆盖面广、周期性重复和相对廉价的特点,随着遥感反演地温研究的不断深入和反演精度的不断提高,通过热红外波段遥感数据反演地温将会成为地温获取的主要手段。

### 参考文献

[1] 覃志豪, Zhang Minghua, Arnon Karnieli, 等. 用陆地卫星 TM6 数据演算地表温度的单窗口算法[J]. 地理学报, 2001, 56(4): 456 - 466.

[2] 覃志豪, Zhang Minghua, Arnon Karnieli, 等. 用 NOAA - AVHRR 热通道数据演算地表温度的劈窗算法[J]. 国土资源遥感, 2001, (2) :33 - 42.

[3] 覃志豪, Li Wenjuan, Zhang Minghua, 等. 单窗算法大气参数估计方法[J]. 国土资源遥感, 2003, (2) :37 - 43.

[4] 刘晶森, 丁裕国, 王纪军. 利用任意时刻 AVHRR 资料近似估计区域地表温度日较差的试验[J]. 南京气象学院学报, 2001, 24 (3) :323 - 329.

[5] 孙毅义, 李治平. 地表温度的卫星遥感[J]. 华北工学院测试技术学报, 1999, 13(3) :125 - 129.

[6] 刘瑞云, 范天锡. 利用 NOAA 卫星资料反演最高地表温度[J]. 南京气象学院学报, 1996, 19(1) :106 - 110.

[7] Fran GB, Cracknell A P. Retrieval of land and sea surface temperature using NOAA - 11 AVHRR data in north - eastern Brazil [J]. International Journal of Remote Sensing, 1994, 15, 1695 - 1712.

## A COMPARISON AND ANALYSIS OF LAND SURFACE TEMPERATURES FROM REMOTE SENSING AND OBSERVATION STATIONS

LIAO Shun - bao , MA Lin , YUE Yan - zhen , LI Ze - hui

( Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research , CAS , Beijing 100101 , China)

**Abstract** By comparing monthly maximum Land Surface Temperature (LST) of January 1999 retrieved from NOAA - AVHRR data with the result from ground observation , it is found that there is a correlation coefficient of 0.86 with a standard deviation of 5.6 between the monthly maximum LSTs from remote sensing and those from ground observation. Monthly maximum LSTs retrieved from remote sensing are generally 2.8 lower than those from ground observation. It is necessary to revise LSTs retrieved from remote sensing to reduce the mean deviation between them and LSTs from ground observation without any delay. After the revision of the monthly maximum LSTs retrieved from remote sensing , the correlation coefficient between the modified monthly maximum LSTs retrieved from remote sensing and LSTs from ground observation remains 0.86 , the standard deviation is reduced from 5.6 to 5.2 , and the mean deviation decreases from 4.9 to 4.1 . Although the modified monthly maximum LSTs retrieved from remote sensing remain lower than those from ground observation , the mean deviation is reduced from 2.8 to 0.1 .

**Key words** NOAA - AVHRR ; Land surface temperature ; Ground observation ; Comparison ; Analysis

**第一作者简介:** 廖顺宝(1966 - ) ,男,博士,副研究员,硕士生导师,主要从事遥感与地理信息系统应用研究。

(责任编辑: 刁淑娟)

### 消息报道

### 2002 年《国土资源遥感》影响因子及分类排序

据最新出版的《2003 年版中国科技期刊引证报告》,2002 年《国土资源遥感》的影响因子为 0.438,在“测绘学类”中位居第 4 位(表 1),在 1534 种中国科技论文统计源期刊中位居第 309 位。

表 1 期刊影响因子分类排序(测绘学类)

名 次	期 刊 名 称	总被引频次	影 响 因 子
1	测绘学报	376	0.951
2	遥感学报	271	0.719
3	大地测量与地球动力学	172	0.450
<b>4</b>	<b>国土资源遥感</b>	<b>121</b>	<b>0.438</b>
5	大地构造与成矿学	138	0.371
6	测绘科学	56	0.321
7	遥感技术与应用	118	0.316
8	测绘工程	58	0.291
9	测绘通报	280	0.280

据《2003 年版中国科技期刊引证报告》