

董立新, 杨虎, 张鹏, 等. FY-3A 陆表温度反演及高温天气过程动态监测. 应用气象学报, 2012, 23(2): 214-222.

# FY-3A 陆表温度反演及高温天气过程动态监测

董立新\* 杨虎 张鹏 唐世浩 陆其峰

(中国遥感卫星辐射测量与定标重点开放实验室 国家卫星气象中心, 北京 100081)

## 摘 要

采用 FY-3A/VIRR 数据, 利用 Becker 局地分裂窗改进算法反演得到逐日陆表温度(LST), 对 2009 年一次高温天气过程进行动态监测, 并分析不同下垫面的热环境变化。结果显示: 此过程中可见光红外扫描辐射计(VIRR)陆表温度产品在敦煌辐射校正场地两次验证的误差为  $-0.17\text{ K}$  和  $1.77\text{ K}$ , 与同时间过境的 MODIS 产品均方根误差为  $2.64\text{ K}$ , 直方图对比陆表温度的频数分布基本一致; 对高温天气过程监测发现, 此次出现以华北的石家庄、郑州、北京等地和西北地区东部的西安等地为中心的两个陆表温度高值区, 部分地区达到了  $320.2\text{ K}$  以上; 城市剖面资料证实城市热岛现象存在, 并发现工矿用地的热岛效应不容忽视, 主要是大面积的工矿用地周围植被破坏严重, 地表增温更为显著。

**关键词:** FY-3A/VIRR; 陆表温度; 局地分裂窗算法; 高温天气过程; 动态监测

## 引 言

盛夏高温是一种重要的灾害性天气。近年来, 随着全球变暖及社会经济发展, 年极端高温事件频率和强度出现增加趋势<sup>[1-5]</sup>, 引起了人们极大关注<sup>[6-7]</sup>。政府间气候变化专门委员会(IPCC)将天气与气候极端事件分为 4 类, 其中位居首位的就是极端温度事件<sup>[8]</sup>。传统气候学用离地  $1.5\text{ m}$  的百叶箱气温研究环境热场与盛夏高温天气, 并定义有一站日最高气温  $\geq 35^\circ\text{C}$  即为一高温日, 持续两天或以上定义为一次高温天气过程<sup>[9-12]</sup>。这在大尺度气候变化研究中非常适用, 但在局地温度场与人体感受中有一定差异。如 1938 年 Büttner 就指出, 评价环境对人体的热影响应当把所有与热有关的参数作为一个整体考虑, 在城市体感温度 MEMI 模型中, 辐射热交换项就取决于平均辐射温度, 其值取决于环境中的长短波辐射<sup>[13]</sup>。近年来, 人们认识到气候变暖不只是因为温室气体排放<sup>[14]</sup>, 下垫面的改变也对局

地气候变化有着重要意义<sup>[15-17]</sup>。因此, 监测下垫面环境热场变化在极端高温事件研究中非常重要。

陆表温度是研究环境热场变化<sup>[18]</sup>的一个关键指标。然而, 由于陆表温度的时空分异特征, 利用气象站点资料进行空间插值<sup>[19]</sup>的准确性及空间表达能力有较大不确定性。一定程度上, 卫星遥感技术可以弥补这一不足<sup>[20]</sup>。近年来, 许多研究者利用红外遥感研究地表热场变化。Doussset 等<sup>[21]</sup>利用多传感器红外遥感对决定城市表面能量通量的物理过程进行了分析。Voogt 等<sup>[22]</sup>回顾了热红外遥感在城市气候方面的研究进展, 并建议加强对自然或植被表面的热红外研究。宋艳等<sup>[23]</sup>利用红外遥感数据, 采用空间自相关等方法研究了深圳特区当前植被配置状态下的热岛效应; 丁金才等<sup>[24]</sup>利用高温加密观测和卫星遥感资料, 对上海盛夏高温分布的气候平均场和第 1 特征场进行了分析; 周志恩等<sup>[20]</sup>利用 AVHRR 遥感陆表温度, 进行了北京城市热岛效应研究等。申双和等<sup>[25]</sup>利用 ASTER 数据分析南京城市陆表温度分布研究。吴晓等<sup>[26]</sup>利用 FY-1D

2011-04-25 收到, 2012-01-09 收到再改稿。

资助项目: 公益性行业(气象)科研专项“主要农作物生长参数与环境参数遥感定量反演优化技术研究”(GYHY200906022-01), 十一五科技支撑计划重点项目“支撑沙尘暴定量遥感和模式预报技术改进的综合观测”(2008BAC40B05)

\* E-mail: donglx@cma.gov.cn

极轨气象卫星推导出 FY-1D 极轨气象卫星的红外通道 4、通道 5 亮温与陆表温度的二次回归关系式计算了陆表温度。

陆表温度热红外遥感主要采用分裂窗算法<sup>[27-28]</sup>,目前,已经公开发表的分裂窗算法有 17 个<sup>[29]</sup>,但是,这些算法主要是针对国外卫星数据,针对我国气象卫星热红外传感器的反演算法与产品应用相对较少。2008 年 5 月我国极轨气象卫星风云三号气象卫星 A 星(FY-3A)发射成功,星上搭载的可见光红外扫描辐射计(VIRR)、中分辨率光谱成像仪(MERSI)以及微波成像仪(MWRI)均可以进行陆表温度的持续观测,具有很大的应用前景。本文采用 FY-3A/VIRR 数据,利用 Becker 局地分裂窗改进算法反演得到逐日陆表温度,对 2009 年一次高温天气过程进行动态监测,并分析不同下垫面的热环境变化,检验产品的实时业务能力,并对主要地区不同下垫面的陆表温度变化进行了分析。

## 1 数据获取与处理

### 1.1 遥感数据

获取了 2009 年 6 月 23—28 日的 FY-3A 气象卫星可见光红外扫描辐射计的 5 min 段逐日轨道 L1B 卫星观测亮温资料,数据经过地理定位、辐射定标等预处理工作,数据格式为 HDF。

同时,获取采用 MODIS 土地利用/覆盖分类等辅助数据,用于发射率计算。

### 1.2 试验数据

2010 年 8 月 14 日与 24 日,晴空,风力较小,在敦煌辐射校正场中心利用埋深式土壤水分温度观测仪(ECH2O)在 5 个不同方位进行陆表温度连续观测,获取了 FY-3A 气象卫星过境前后 5 min 时间段的 0 cm 陆表温度,用以对陆表温度遥感反演结果进行验证。

## 2 FY-3A/VIRR 陆表温度反演算法

### 2.1 Becker 局地分裂窗算法

本文采用 Becker 算法进行陆表温度反演<sup>[30-32]</sup>。该方法是通过辐射传输模拟分析得到的一个半经验局地分裂窗算法,由于充分考虑了大多数大气和地表状况,其适用范围较广。根据 Becker 算法<sup>[30]</sup>,可

将陆表温度计算近似为

$$T_s = A_0 + p(T_4 + T_5)/2 + M(T_4 - T_5)/2. \quad (1)$$

式(1)中, $A_0$  为一定常数; $T_4$  和  $T_5$  分别为通道 4、通道 5 的亮温; $P, M$  皆为地表发射率的函数。其中,

$$\begin{aligned} P &= 1 + \alpha(1 - \epsilon)/\epsilon + \beta\Delta\epsilon/\epsilon^2, \\ M &= \gamma' + \alpha'(1 - \epsilon)/\epsilon + \beta'\Delta\epsilon/\epsilon^2. \end{aligned} \quad (2)$$

这里定义平均地表发射率  $\epsilon$  为  $(\epsilon_4 + \epsilon_5)/2$ ,地表发射率差  $\Delta\epsilon$  为  $(\epsilon_4 - \epsilon_5)$ 。通过模拟数据对上述方程进行回归,得到各待求参数。

### 2.2 Becker 算法改进

Becker 算法针对 NOAA-9 传感器设计,但对于不同传感器来说,由于传感器通道响应函数不尽相同,Becker 算法不能适用,因此要对模型中参数进行改进。在 Becker 算法的基础上,针对 FY-3A/VIRR 热红外通道光谱响应函数特性,选择 4 种大气模式(中纬度地区夏季大气、中纬度地区冬季大气、亚极地夏季大气、1972 年美国标准大气),每种大气模式分别对应 4 个陆表温度(294.2 K 及  $294.2 \pm 5$  K, 272.2 K 及  $272.2 \pm 5$  K, 287.2 K 及  $287.2 \pm 5$  K, 288.2 K 及  $288.2 \pm 5$  K),用 MODTRAN 程序对地表热红外辐射特性进行了模拟,生成通道 4、通道 5 地表亮温模拟数据,重新得到 Becker 算法中模型参数: $A_0 = -0.89712$ ;  $\alpha = 0.27297$ ;  $\beta = -0.35818$ ;  $\gamma' = 4.06068$ ;  $\alpha' = 5.91802$ ;  $\beta' = 0.38843$ 。

另外,地表发射率是影响陆表温度的另一个重要参数。与原来 Becker 算法不同,本文地表发射率的计算采用植被覆盖度方法<sup>[33]</sup>,即每一个像元范围内,某一通道的地表有效比辐射率由植被辐射率和非植被覆盖区地表比辐射率通过一个线性模型,得到

$$\epsilon_{i, \text{pixel}} = \epsilon_{i, v} C_{FV} + \epsilon_{i, g} (1 - C_{FV}) + d\epsilon_i. \quad (3)$$

式(3)中, $\epsilon_{i, v}$  为某一类型纯植被覆盖像元  $i$  通道地表发射率; $\epsilon_{i, g}$  为相应纯裸露地表像元发射率; $d\epsilon_i$  为某一通道由植被和下垫面地表的多次反射产生的地表发射率项,为简化计算,假设地表平坦,没有地表发射率的多次反射项,即  $d\epsilon_i = 0$ 。 $C_{FV}$  为植被覆盖度,可由下式计算:

$$C_{FV} = (I_{NDV} - I_{NDVS}) / (I_{NDV} - I_{NDVS}). \quad (4)$$

植被指数( $I_{NDV}$ )由 VIRR 仪器红光和近红外通道计

算得到。其中,  $I_{NDVS}$  为纯裸土像元  $I_{NDV}$  值, 取固定值 0.05;  $I_{NDVV}$  为纯植被像元某一植被类型的典型  $I_{NDV}$  值; 植被覆盖类型采用国际地圈生物圈计划 (IGBP) 分类结果, 对每一种类型, 通道 4、通道 5 的  $\epsilon_{i,v}$ ,  $\epsilon_{i,g}$  及  $I_{NDVV}$ ,  $I_{NDVS}$  由发表的文献数据得到<sup>[34-35]</sup>。

在得到 Becker 算法模型参数及地表比辐射率  $\epsilon$  后, 代入式(2), 即可得到陆表温度, 最后经过去云处理和质量检验最终生成陆表温度产品。

### 2.3 改进算法误差分析

利用辐射传输模型 MODTRAN 模拟被传感器接收的地表热辐射特性, 然后对 Becker 改进算法进行误差分析<sup>[31]</sup>。模拟需要设定的地表状态以及大气状态, 地表比辐射率等如 2.2 节所述, 结果表明: 在不考虑比辐射率及大气透过率误差的情况下, 改进算法误差在 1 K 以内, 这和文献<sup>[36]</sup>中的结论是一致的。

## 3 陆表温度结果验证

### 3.1 星-地同步验证

由于时空分布的非均一性, 陆表温度真实性检验一直是一项较难的工作。本文星-地同步验证针对高温过程监测, 所以主要对高温端陆表温度进行验证。所以, 为了很好地验证 VIRR 陆表温度产品在高温地区的误差, 选择在敦煌辐射校正场地中心, 对 FY-3A 气象卫星过境前后 5 min 时间段内每分钟的 0 cm 陆表温度进行星-地同步测量。由于敦煌辐射校正场地无植被, 且地面平整均匀, 最高陆表温度能达到 60℃ 左右, 是进行高温端陆表温度验证的理想场地。

对卫星过境时 5 min 时间段内 0 cm 陆表温度进行空间和时间的平均, 将此 0 cm 地温与辐射校正场中心经纬度位置像元的陆表温度进行比较。经过验证, 两次在敦煌辐射戈壁滩进行 VIRR 陆表温度产品验证的误差分别为 -0.17 K 和 1.77 K (表 1)。

表 1 FY-3A 气象卫星反演陆表温度产品星-地同步验证

Table 1 Synchronization validation between satellite and the earth for FY-3A LST

日期	像元陆表温度/K	0 cm 陆表温度平均/K	误差/K
2010-08-14	316.30	316.13	-0.17
2010-08-24	316.70	318.47	1.77

由表 1 可见, 就此次验证结果看陆表温度产品在高温端具有较高精度。当然, VIRR 陆表温度产品的整体精度尚需要更多实地数据的支持, 今后将深入开展这方面的工作。

### 3.2 星-星交叉验证

为了保证验证的统计学意义和精度, 选用 2010 年 5 月 24 日 FY-3A 与 MODIS 有交叉点的陆表温度 (LST) 产品进行大范围比较。其中, 在交叉点 53.811°N, 92.435°E FY-3A 气象卫星过境时间为 04:59:40.00 (世界时, 下同), 对比卫星 MODIS-TERRA 过境时间为 05:04:50.00; 在交叉点 14.503°N, 105.231°E FY-3A 气象卫星过境时间为 03:29:30.00, 对比 MODIS-TERRA 卫星过境时间为 03:37:00.00。可见卫星过境时间间隔在 10 min 以内, 因此可以忽略陆表温度的时间变化。

为对两种 LST 产品进行统计对比, 本文对两种产品重叠区域进行了散点图对比、频数分布直方图对比和误差绝对值直方图对比, 如图 1 和图 2 所示。散点图误差分析 (图 1) 结果表明, 两种 LST 产品均方根误差为 2.64 K; 直方图对比结果表明, 两种产品 LST 值的频数分布基本一致 (图 2a), 误差大多在 2~5 K 范围内 (图 2b)。这个结果只能说明两种反演结果具有较高的相关性, 并不是本文的 LST 反演精度是 2~5 K。

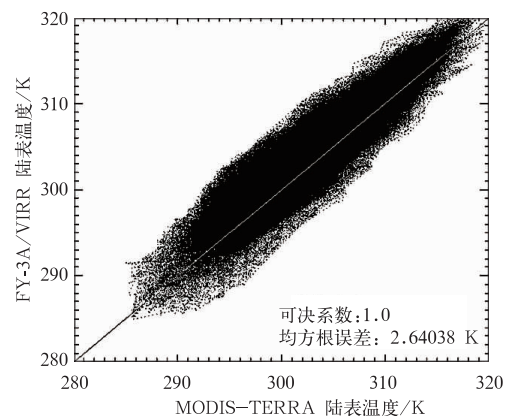


图 1 2010 年 5 月 24 日 FY-3A/VIRR 陆表温度与 MODIS-TERRA 陆表温度对比散点图

Fig. 1 Scatter plot of LST from FY-3A/VIRR and that from MODIS-TERRA on 24 May 2010

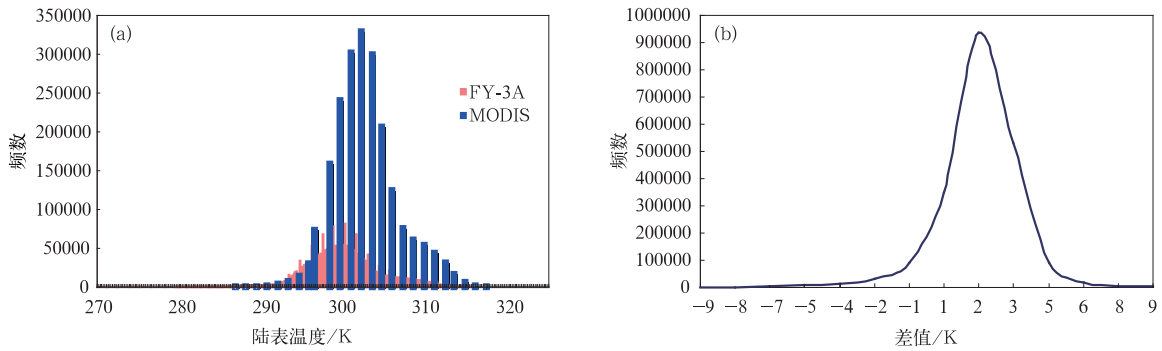


图 2 FY-3A/VIRR 与 MODIS-TERRA 陆表温度产品反演结果直方图对比  
(a) 频数分布对比, (b) 差值频数分布

Fig. 2 Comparison between LST products from FY-3A/VIRR and those from MODIS-TERRA  
(a) distribution of frequency, (b) distribuion of difference frequency

#### 4 高温过程逐日监测与分析

##### 4.1 高温过程

对 2009 年 6 月下旬进入汛期第 1 次高温天气过程进行了逐日监测, 其陆表温度变化如图 3 所示

(投影方式: Geographiclat/lon)。图中红色区域的陆表温度在 313 K 以上, 也是这次高温天气过程影响的主要区域, 可以看出, 高温天气过程影响区域较为广泛, 涉及我国华北地区、西北东部地区、东北部部分地区以及长江流域部分城市。

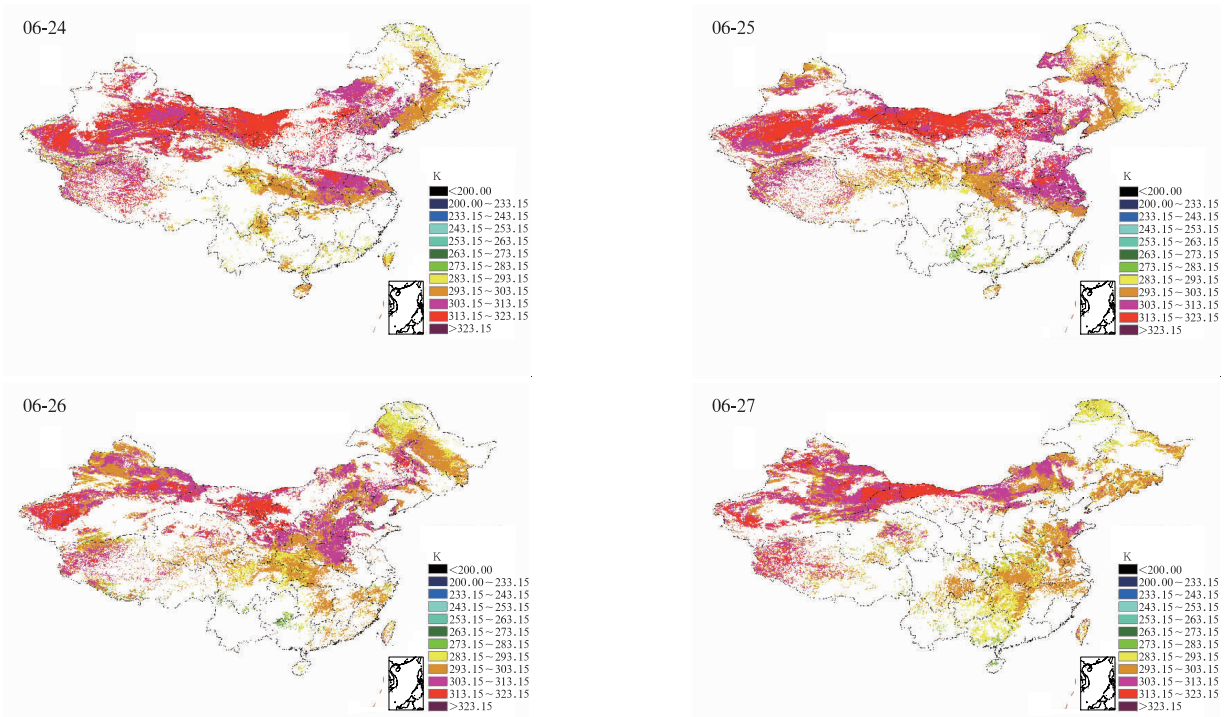


图 3 2009 年 6 月下旬我国第 1 次高温天气过程监测 FY-3A/VIRR 陆表温度

Fig. 3 The first high-temperature process in the latter half of Jun in 2009 by FY-3A/VIRR LST

同时, 选择华北地区、西北地区、东北地区与长江流域的代表性气象站点进行比较分析(图 4), 发

现陆表温度的高值区域(图 4 中陆表温度大于 310 K 的高温地区)有两个, 一是华北地区的石家

庄、郑州、北京等地区；二是西北地区东部的西安。此次过程最高陆表温度出现于 6 月 24 日，长江以北大部分地区达到了 310.4 K，部分地区达到了 320.2 K (47.05℃) 以上，人们普遍感到高温带来的炎热。25 日由于受云系发展的影响，陆表温度开始

下降，到 27 日地温降至最低。另外，长江流域及南方地区的陆表温度低于华北及西安地区，时间上有所滞后；东北地区的陆表温度也低于华北及西安地区，但并没有滞后现象。

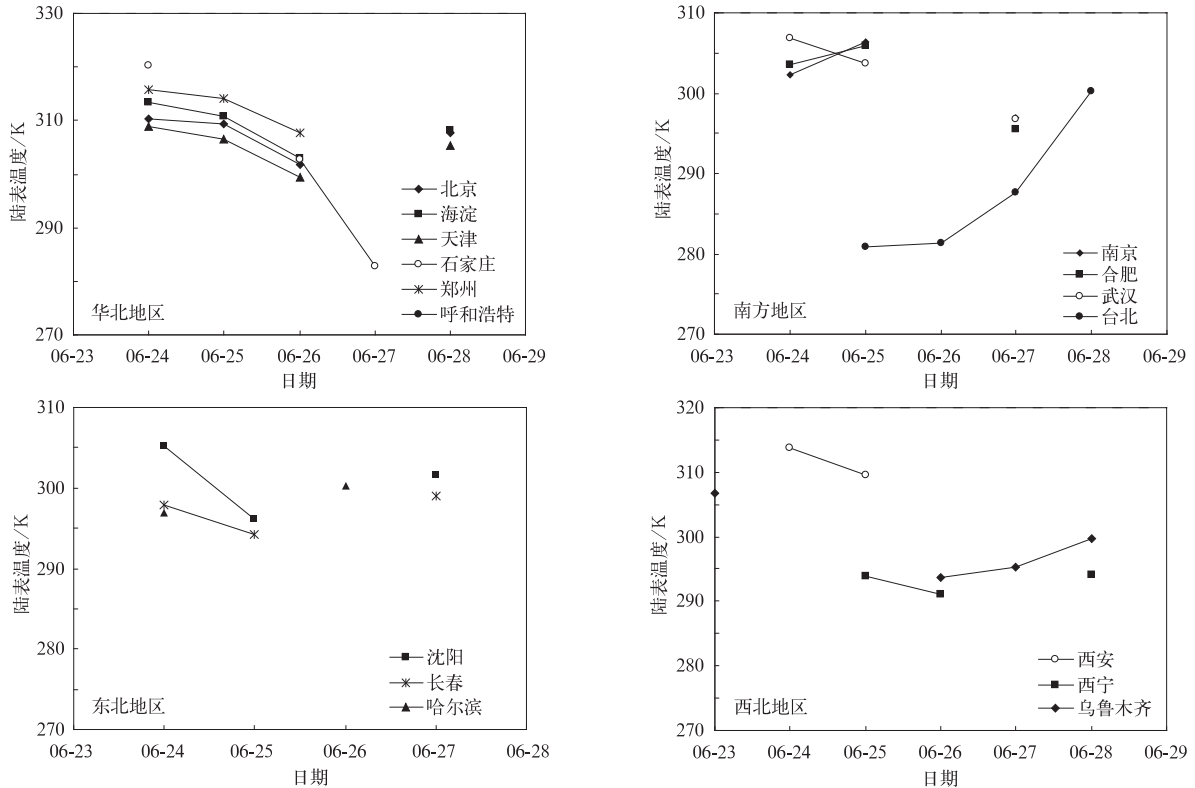


图 4 2009 年 6 月全国各主要站点 FY-3A/VIRR 陆表温度变化比较  
Fig. 4 Changes of FY-3A/VIRR LST among mainly cities in China in Jun 2009

### 4.2 城市热岛效应

由于城市下垫面的不同，高温天气首先影响的是城市地区，即城市热岛<sup>[37-38]</sup>。以北京和石家庄两个陆表温度比较高的地区进行分析，选取城市的中心经纬度为原点(北京:39.92°N,116.40°E;石家庄:38.02°N,114.50°E)，对陆表温度在同一纬度剖面的变化进行分析。剖面资料(图 5)表明，城市内部高温和城市结构一致，市内中心区域的陆表温度明显高于外围区域，主要原因是市内人口密度大和植被覆盖率低，地表覆盖多为水泥、柏油等热容量较小的材质，容易受高温天气的影响，发射更多的热能，因此，表面温度高于植被覆盖较多的郊区与外围地区。

### 4.3 工矿用地热岛效应

但值得注意的是，市内并不是唯一的高温区，剖

面图(图 5)发现，城市郊区或外围地区的陆表温度高于城市内部，形成靠近城市热岛的一个新的热岛。为了查找其中原因，通过以点经纬度为中心在 GoogleEarth 的高分辨率影像上获取 2006—2009 年大小约为 5 km×5 km 的地面实况图进行分析，发现在石家庄西部的两个陆表温度高于 320 K 的高温区(红色圈位置)主要是大面积的采石场(白色区域)和煤矿场(黑色区域地处石家庄市井陉矿区凤山镇和秀林镇)；而北京西郊(图中 A 号红圈)的陆表温度偏高主要是一些人工热源的燃烧释热，增加了地表的热能辐射，从而在卫星遥感上表现为高温异常区域。图中 B,C 号红圈所示地区已经位于北京西外围地区，其多为山前平原交汇处或山区，自然植被覆盖较多，但由于城市建设(B 号红圈图)或采矿(C 号图中青色区域)等的影响，其陆表温度也达到

了 310 K 以上;而北京东部外围地区(E 号红圈图)以及其他大部地区陆表温度较之西部外围地区较高的原因是,北京地区东部是平原,主要植被为农作物,其间分布大量的中小城镇,通过纵横交错的道路呈现出网络状分布特点,因此,陆表温度也比较高。D 号红圈图所示为北京故宫的环境情况。另一方

面,北京东部外围的蓝色圈所示区域陆表温度较低,其原因是像元内包含人工水域;石家庄东、西部外围各有一个低值区(图中蓝色圈),其原因是西部主要是山区,森林等自然植被覆盖较多,而东部主要为农田,所以陆表温度明显低于城市和工矿用地。

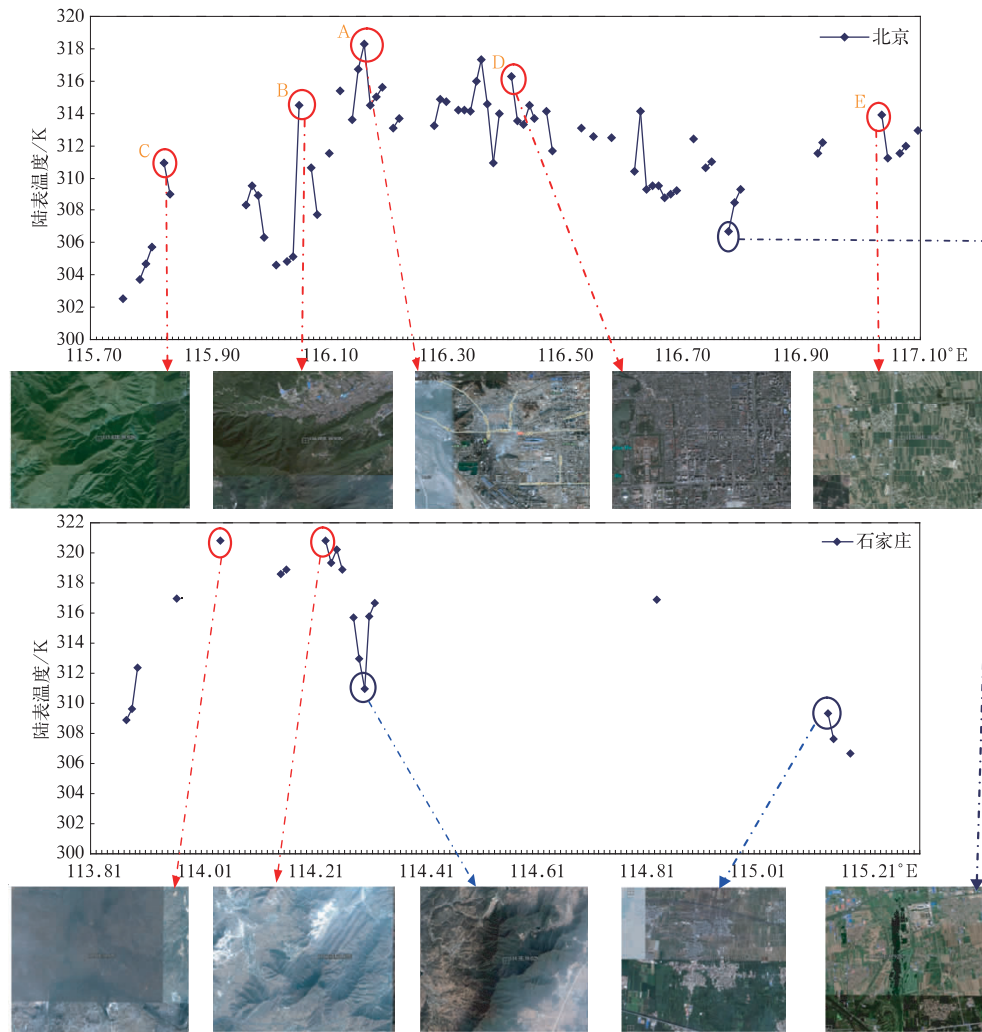


图 5 北京、石家庄地区同一纬度 FY-3A/VIRR 陆表温度剖面图及地表现状(图片, 5 km×5 km)  
 Fig. 5 The profile of FY-3A/VIRR LST and analysis of surface status(images, 5 km×5 km) in Beijing and Shijiazhuang

另外,通过北京与石家庄剖面图的比较可以发现,北京城市外围地区的陆表温度变化比石家庄复杂,说明北京外围地表覆盖类型较复杂,这主要是由于北京外围地区,特别是城乡结合处的开发程度与人口密集度较高,在遥感红外温度图像上表现出高温度区域,这也可以从石家庄东部的陆表温度低于北京东部地区得到一些佐证。对这方面的工作可作

进一步的细致研究。

总的来说,高温天气对工矿用地和城市地区的影响比较明显,一定程度上,一些大面积的工矿用地由于植被破坏严重,对地表增温更为显著。因此建议在研究热岛效应对气候变化影响的时候,不应忽视工矿用地的热岛效应。

## 5 结论与讨论

FY-3A 极轨气象卫星数据的开发利用将大大增强我国在应对气候变化方面的实时监测能力,对于进行极端天气气候事件的应急服务意义重大。本文通过此次监测,充分显示了 FY-3A 气象卫星可见光红外扫描辐射计(VIRR)在高温天气过程的高时效监测能力,可进行高温异常区域的检测,从而有利于提升 FY-3A 气象卫星热红外多波段数据在全球变化研究中发挥更大作用。研究表明:

1) 利用 MODTRAN 模拟改进 Becker 算法,对陆表温度进行反演,并进行星-地对比验证表明,VIRR 陆表温度产品在敦煌辐射校正场地两次验证的误差为  $-0.17\text{ K}$  和  $1.77\text{ K}$ ,与同时间过境的 MODIS 产品均方根误差为  $2.64\text{ K}$ ,直方图对比陆表温度的频数分布基本一致;与 MODIS 星-星对比验证表明两种产品具有很好的相关性,可满足业务化应用的需求。

2) 对 2009 年汛期第 1 次高温天气过程进行逐日监测发现,陆表温度最高出现于 6 月 24 日,并出现以华北的石家庄、郑州、北京等地和西北地区东部的西安等地为中心的两个陆表温度高值区,部分地区达到了  $320.2\text{ K}$  ( $47.05\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) 以上。长江流域及南方地区的陆表温度低于华北地区及西安地区,时间上有所滞后。

3) 城市剖面资料分析证实城市热岛现象存在,并发现工矿用地的热岛效应不容忽视。主要原因是一些大面积的工矿用地周围植被破坏严重,对地表增温更为显著。

另外,由于 VIRR 空间分辨率为  $1\text{ km}$ ,要清楚地识别监测区域需配合高分辨率遥感影像。目前,FY-3A 气象卫星的 MERSI 仪器有  $250\text{ m}$  分辨率的红外通道,可进行高时效、高精度的监测。

### 参考文献

- [1] Gruza G, Rankova E, Razuvaev V. Indicators of climate change for the Russian federation. *Climatic Change*, 1999, 42:219-242.
- [2] 王鹏祥, 杨金虎. 中国西北近 45a 来极端高温事件及其对区域性增暖的响应. *中国沙漠*, 2007, 27(4):649-655.
- [3] 马柱国, 符宗斌, 任小波, 等. 中国北方年极端温度的变化趋势与区域增暖的联系. *地理学报*, 2003, 58(增刊):11-20.
- [4] 翟盘茂, 潘晓华. 中国北方近 50a 温度和降水极端事件变化. *地理学报*, 2003, 58(增刊):1-10.
- [5] 龚志强, 王晓娟, 支蓉, 等. 中国近 58 年温度极端事件的区域特征及其与气候突变的联系. *物理学报*, 2009, 58(6):4342-4353.
- [6] Meehl G A, Karl T, Easterling D R, et al. An introduction to trends in extreme weather and climate events; Observations, socioeconomic impacts, terrestrial ecological impacts, and model projections. *Bull Amer Meteor Soc*, 2000, 81(3):413-416.
- [7] Easterling D R, Evans J L, Groisman P Y, et al. Observed variability and trends in extreme climate events; A brief review. *Bull Amer Meteor Soc*, 2000, 81(3):417-425.
- [8] 黄丹青, 钱永甫. 我国极端温度事件的定义和趋势分析. *中山大学学报:自然科学版*, 2008, 47(3):112-116.
- [9] 李玲萍, 李庆玉, 李岩瑛. 河西走廊东部高温天气气候特征分析. *干旱地区农业研究*, 2009, 27(2):35-40.
- [10] 卫捷, 孙建华. 华北地区夏季高温闷热天气特征的分析. *气候与环境研究*, 2007, 12(3):453-463.
- [11] 张高印, 宋艳玲, 张德宽, 等. 华北主要城市夏季高温天气气候特征及评估方法. *地理学报*, 2004, 59(3):383-390.
- [12] 王迎春, 葛国庆, 陶祖钰. 北京夏季高温闷热天气的气候特征和 2008 夏季奥运会. *气象*, 2003, 29(9):23-27.
- [13] 余永江, 郑有飞, 谈建国, 等. 近 50a 来中国大城市体感温度变化. *气象科学*, 2009, 29(2):272-276.
- [14] 王明星. 大气化学(第二版). 北京:气象出版社, 1999.
- [15] 周淑贞, 束炯. 城市气候学. 北京:气象出版社, 1994.
- [16] 张光智, 徐祥德, 王继志, 等. 北京及周边地区城市尺度热岛特征及其演变. *应用气象学报*, 2002, 13(特刊):41-49.
- [17] 侯依玲, 陈葆德, 陈伯民, 等. 上海城市化进程导致的局地气温变化特征. *高原气象*, 2008, 27(增刊):131-137.
- [18] 郭维栋, 孙菽芬. 土壤热异常对地表能量平衡影响初探. *气象学报*, 2002, 60(6):706-714.
- [19] 张慧智, 史学正, 于东升, 等. 中国土壤温度的空间插值方法比较. *地理研究*, 2008, 27(6):1299-1307.
- [20] 周志恩, 蒋维楣, 胡非, 等. 气象卫星观测资料的分析在城市区域气象环境研究中的应用. *气象科学*, 2003, 23(3):292-299.
- [21] Dousset B, Gourmelon F. Satellite multi-sensor data analysis of urban surface temperatures and landcover. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 2003, 58:43-54.
- [22] Voogt J A, Oke T R. Thermal remote sensing of urban climates. *Remote Sens Environ*, 2003, 86:370-384.
- [23] 宋艳, 余世孝, 李楠, 等. 深圳特区表面温度空间分异特征. *生态学报*, 2007, 27(4):1489-1498.
- [24] 丁金才, 张志凯, 奚红, 等. 上海地区盛夏高温分布和热岛效应的初步研究. *大气科学*, 2002, 26(3):412-420.
- [25] 申双和, 赵小艳, 杨沈斌, 等. 利用 ASTER 数据分析南京城市地表温度分布. *应用气象学报*, 2009, 20(4):458-464.
- [26] 吴晓, 陈维英. 利用 FY-1D 极轨气象卫星分裂窗区通道计算陆表温度. *应用气象学报*, 2005, 16(1):45-53.
- [27] Kerr Y H, Lagouarde J P, Imberton J, et al. Accurate land Surface temperature retrieval from AVHRR data with use of

- an improved split window algorithm. *Remote Sensing Environ*, 1992, 41:197-209.
- [28] Wan Z, Dozier J. A generalized split-window algorithm for retrieving land-surface temperature from space. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 1996, 34(4):892-905.
- [29] 毛克彪. 用 MODIS 影像和劈窗算法反演山东半岛的地表温度. *中国矿业大学学报*, 2005(1):47-50.
- [30] 杨军,董超华. 新一代风云极轨气象卫星业务产品及应用. 北京:科学出版社,2010: 215-217.
- [31] 杨虎,杨忠东. 中国陆地区域陆表温度业务化遥感反演算法及产品运行系统. *遥感学报*, 2006, 10(4):600-607.
- [32] Becker F, Li Z L. Towards a local split window method over land surface. *Int J Remote Sens*, 1990, 11(3): 369-393.
- [33] Caselles V, Coll C, Valor E. land surface temperature determination in the whole Hapex Sahel area from AVHRR data. *Int J Remote Sensing*, 1997, 18(5): 1009-1027.
- [34] Rubio E, Caselles V, Badenas C. Emissivity measurements of several soils and vegetation types in the 8~14  $\mu\text{m}$  wave band: Analysis of two field methods. *Remote Sens Environ*, 1997, 59(3): 490-521.
- [35] Zeng X B, Dickinson R E, Walker A, et al. Derivation and evaluation of global 1-km fractional vegetation cover data for land modeling. *J Appl Meteor*, 2000, 39(6): 826-839.
- [36] 孙亮,孙睿,贾成刚,等. MODIS 数据反演陆表温度劈窗算法比较. *北京师范大学学报:自然科学版*, 2008, 44(4): 434-438.
- [37] 唐国利,任国玉,周江兴. 西南地区城市热岛强度变化对地面气温序列影响. *应用气象学报*, 2010, 21(6):722-730.
- [38] 郑祚芳,范水勇,王迎春. 城市热岛效应对比北京夏季高温的影响. *应用气象学报*, 2006, 17(增刊):48-53.

## Retrieval of Land Surface Temperature and Dynamic Monitoring of a High Temperature Weather Process Based on FY-3A/VIRR Data

Dong Lixin Yang Hu Zhang Peng Tang Shihao Lu Qifeng

(Laboratory of Radiometric Calibration and Validation for Environmental Satellites,  
National Satellite Meteorological Center, Beijing 100081)

### Abstract

Split-window algorithm is mainly used for retrieving land surface temperature in thermal infrared remote sensing. Around seventeen algorithms have been published in recent years, but few have been applied to Chinese meteorological satellite data such as FY-3 series. FY-3A, the first of this series is launched from Taiyuan Satellite Launch Centre in China on 27 May, 2008. This new generation satellites series provide three dimensional, quantitative, multi spectrum global remote sensing data under all weather conditions, which will greatly help the operational numerical weather prediction, global change research, climate diagnostics and prediction, and natural disasters monitoring. The visible and infrared scanning radiometer (VIRR), medium resolution spectral imager (MERSI) and microwave imaging instrument (MWRI) aboard this satellite can all be used for retrieving the land surface temperature (LST) and monitoring the process of high temperature weather.

Daily LST products are retrieved by the improved Becker algorithm using the FY-3A/VIRR data. And the first process of high temperature weather in 2009 is monitored and the changes of thermal environment in different land types are analyzed. First, a modified Becker's split window retrieval algorithm is developed using VIRR thermal infrared spectral response function for retrieving LST from the FY-3A/VIRR data. A new set of parameters for Becker's LST algorithm is proposed. The algorithm is developed from a surface brightness temperature dataset generated from the MODTRAN program, which uses a range of surface parameters (294.2 K, 294.2 K $\pm$ 5 K, 272.2 K, 272.2 K $\pm$ 5 K, 287.2 K, 287.2 K $\pm$ 5 K, 288.2 K, 288.2 K $\pm$ 5 K) and four kinds of atmospheric model (mid-latitude summer atmosphere, mid-latitude winter atmosphere, sub-polar summer atmosphere and American standard atmosphere 1972) as inputs. The daily



