

# 红外航空遥感下垫面温度场

孙奕敏 李稼

郭之怀

(天津市气象科学研究所) (中国科学院遥感应用研究所)

## 一、概述

遥感技术是一门新兴学科。按目前国际上的习惯，遥感可分为航空和航天两大类。都以红外或微波作为常用波段。航空遥感比航天遥感分辨率高，所以航空遥感是发展遥感技术的重要方向。1979年以来，我们成功地利用彩色红外航空遥感资料分析了“城市热岛”特征<sup>[1]</sup>，并揭示下垫面温度场特点。还开展了利用航空遥感资料作农业产量预报的试验研究。另外，还可利用遥感技术，遥测植被茂密程度和作物的多样性，感知该地区的干季和雨季，气候和生物的垂直地带；可遥测山区、平原、沙漠和草原的气候带以及地方性小气候和作物微气候等。

本文着重介绍我们利用红外航空遥感技术，研究下垫面温度场的工作。

## 二、红外航空遥感的方法、手段和信息提取

### 1. 红外航空遥感的观测平台<sup>[2]</sup>和仪器

1979—1980年，我们参加了津渤地质遥感和环境遥感的试验研究工作。试验用红外航空遥感手段，了解下垫面温度场的分布和大气环境状况。

两年来的多次飞行，都是以米-8直升飞机和双水獭飞机作为观测平台。采用 HWL-2型航空红外测温仪、RE-2007红外测温仪、DS-1230红外扫描仪等传感器，工作波段是8—14微米，使用RMK150/23航空

摄影机、彩色红外和黑白全色胶卷。飞行高度为200—300米。有时还双机飞行。并作了夜间红外测量与夜间热红外扫描的同机同步观测。

为了掌握试验区内的主要地物辐射温度日变化特征，为热红外扫描选择最佳飞行时间，还进行了剖面观测。地面观测采用了HFV-1型红外测温仪、HD-1型红外低温测温仪、HD-3A红外测温仪、RE-2007红外测温仪、302型野外分光光度计、半导体点温计、干湿球通风温度计、风温自记仪和地表温度表等。特别是对房顶、柏油路面、水泥路面、土面、水面都进行了温度测量。

另外，还结合气象常规资料，同遥感资料互相印证，进行了下垫面温度场的综合分析。

### 2. 红外遥感图象温度信息提取

从遥感热图象上提取温度信息，必须先从遥感图象上进行温度定标，然后才能读取辐射温度。

温度定标的方法是：把红外扫描仪的记录磁带，回放成黑白影象——红外扫描图象。最低温度定标(BB<sub>1</sub>)用黑色表示，最高温度定标(BB<sub>2</sub>)用白色表示，温度按由低到高的次序排列，中间有6个等级。同样也可将红外图象按灰阶进行加色处理，回放成彩色热图象，以不同的颜色，如品红、兰、青、绿、黄、红色表示不同的温度。两个相邻等级间温度差 $\Delta t = \frac{BB_2 - BB_1}{8-2}$ 。这样，可由图上读取辐射温度得到相对的温度状况，再进

行：

### (1) 大气透射率的订正

遥感图象上的温度信息是地表的辐射温度信息，不是传感器接收的全部地面辐射通量。由于大气中存在着水汽、二氧化碳、臭氧、烟雾等，吸收掉一部分大气辐射通量。我们用Elder和Strong曾提出的计算公式

$$P = -K \lg W + P_0$$

进行订正。式中P为大气窗口(8—14微米)平均透射率(%)，W为光通路中水汽含量，以单位面积上可降水量厚度(毫米)表示，K、 $P_0$ 为实验常数。本文取K=27， $P_0=93$ 。

### (2) 求取下垫面真实温度

按能量守恒原理，飞机传感器接收的能量( $E_{传}$ )应等于地面发射的被大气削弱的能量( $E_{地}$ )和大气发射的能量( $E_{气}$ )之和，即

$$E_{传} = E_{地} + E_{气}$$

式中  $E_{传} = \sigma T^4$ ，  $E_{地} = P \cdot \varepsilon \sigma T_{地}^4$ ，  $E_{气} = \varepsilon' \sigma T_{气}^4 (1 - P)$ ，代入上式简化后，则得下垫面真实温度公式为

$$T_{地} = \left[ \frac{T_{辐}^4 - \varepsilon' (1 - P) T_{气}^4}{\varepsilon P} \right]^{\frac{1}{4}}$$

式中 $T_{地}$ 、 $T_{辐}$ 、 $T_{气}$ 、 $\varepsilon$ 、 $\varepsilon'$ 、P依次为下垫面真实温度、辐射温度、地面至传感器之间的平均气温、地表发射率、大气发射率、透射率。温度均以绝对温度计算，各种地表的发射率可从表中查到。一般水为0.98，植被为0.96，大气为0.95，砖瓦为0.94，沥青为0.92。显然，气温的形成与地表温度的关系密切〔3〕，应加强各种地表温度的观测和研究。

### 3. 彩色红外热图象的制作和解译

任何物体，都是以特定的频率吸收、反射、透射、发射电磁辐射，产生与物体特性相关的波谱信号，所谓遥感的解译，是指把接收的这些波谱信号变成可见的形象，然后

进行解译。我们对遥感图象的解译是采用三种解译方法相结合。这三种解译方法是：

(1) 目视解译法：先调查了解、掌握地面物体特性的资料，再对图象进行定性的判读分析。

(2) 电子光学仪器解译法〔4〕：利用假彩色合成技术、假彩色等密分割技术，边缘增强技术和空间滤波技术等方法，使不清晰的影象变清晰，提高解译能力。

(3) 电子计算机解译法：将影象变成数字化磁带，利用电子计算机进行自动解译。但由于我们所得到的一部分图象、记录是模拟磁带，难以转换成数字磁带。故只好采用方格法转绘，以彩色热图象上的图象排列好，与图象相近的地形索图，按相应的地物逐点转绘。再参照多种地物温度曲线和大气影响加以适当修正，最后得出下垫面温度图。

我们还以彩色图象上的不同灰阶估算每一小片的平均温度，描绘成下垫面辐射温度场。

### 三、红外航空遥感下垫面温度场实例分析

利用彩色红外遥感照片(图1—6，见本期封二、三、四)和转绘图，结合下垫面的物理性质和人工热源源强分布，分析了遥感下垫面的温度场特征。现举例如下。

#### 1. 红外遥感热图象景观结构和热力状态的实例分析

(1) 常温型 此型下垫面目标物，一般耗煤较少，人工热源强较低。如机关、学校、居民区、商业区，它们占市区的面积较大，在彩色(黑白)热图象上常呈现暖色调(图2、3)，而第二文化宫树多，植被面积大，又有水面，热图象呈冷色调。

(2) 高温型(见图3—6) 这种下垫面的目标物区，一般消耗的能源多，热源强较强，工厂集中，烟囱林立，对周围环境有

明显辐射影响和热量交换。这种高温区多是工业区，发电厂、钢铁厂、水泥厂、耐火材料厂等。而市区内的密集街道网，也属此类型；从图上可看出主要街道和干线要比附近的辐射温度高两个色阶，一般街道也比道旁高一个色阶。这是由于街道上汽车多，释放的尾气温度较高，行人多也释放出热量，加之道路两旁的楼房和沥青、水泥路面，在白天吸收了大量的太阳辐射，温度较高，同时又辐射到其周围。而夜间有效辐射大，使道路上的气温升高。这样以来，在白天则形成纵横交错的路面高温道路网；夜间则形成地面气温较高的网状地带。

(3) 恒温型 由于生产需要，某些车间要经常保持21—25℃，有的要保持低温，一年四季温度波动不大。如纺织厂、精密仪器厂、光学仪器厂等。它们在热图象上表现为相对的冬暖夏凉，显示出有规律的恒温特点。

(4) 昼夜交错型 此类型的特点是热力状况随昼夜变化，其变化主要受下垫面物质的植被率和比热大小所控制（见图7、8）。如绿色公园、海河水面，白天经常色调较冷，夜间色调较暖。比热小的铁路、油毡房顶、柏油路等，白天经常色调暖，而夜间则色调冷。这在遥感热图象上表现很明显。

总之，从历次获取的彩色或黑白热图象看，不同下垫面的物理性质，在一天之内可呈现出各种不同的热力景观结构。这除了因

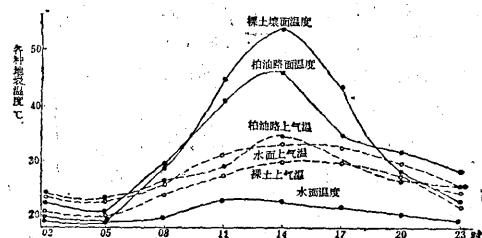


图7 1983年7月各种地表温度与气温的日变化

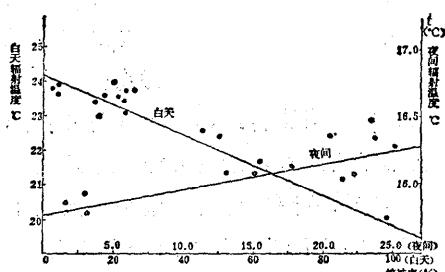


图8 市区植被率与下垫面辐射温度相关图

为太阳辐射作用外，还取决于人为的消耗能量的多少。尤其是不同地表物质的密度、比热、热容量、导热率不同，影响了下垫面温度分布的不均匀性。综合造成市区白天下垫面温度可高于郊区10℃左右。整个市区象一个“热岛”（图9），这就是城市气候<sup>[5]</sup>的重要特点。

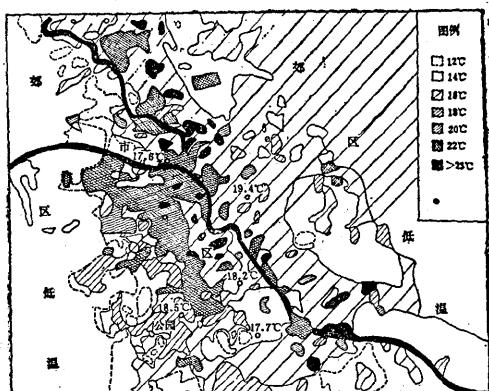


图9 1980年5月10日03时—04时45分下垫面辐射温度场的分布

## 2. 将红外遥感热图象转绘或描绘成下垫面辐射温度场的实例

为了便于分析，我们使用电子计算机转绘或分片统计描绘的方法，将热图象制成大小不同、温度有异的下垫面辐射温度场。例如：

1. 从1980年5月10日03—04时45分的红外遥感热图象（图2），经过解译分析、统计描绘成下垫面辐射温度场（图9）。由图清楚地看出，整个建城区的下垫面辐射温度，比

郊区约高4—6℃，好象一“城市热岛”，其中包含有55个小“热岛”，各个边缘的界限较清楚，充分显示出城市气候的特点。

(2) 方格法转绘1980年9月6日的红外彩色热图象，直接绘成天津市区地表辐射温度(图10)。从图10可见，整个市区的下垫面辐射温度亦高于郊区，也象一个庞大的“城市热岛”，其中包含近百个小热岛，整个市区象一个小热岛群。这又证明了城市区温度高于郊区的城市气候特点。特别是小热岛群呈现在市区内各个地方的小气候特点。

(3) 1980年12月16日07—10时45分的下垫面辐射温度图(图略)，也呈现出十多片小热岛强度为3—4℃的城市气候特点。本次遥感试验飞行，由于时间达2—3小时，又是在日出前后，下垫面温度变化太大，前后分析比较困难。但仍可看到城市下垫面的小气候特点。

#### 四、小结

总之，从遥感景观结构(图1—6)和转绘图(图9、10)可看出城市下垫面辐射温度场和城市气候的特点：

1. 整个建城区清楚地呈现为一“城市热

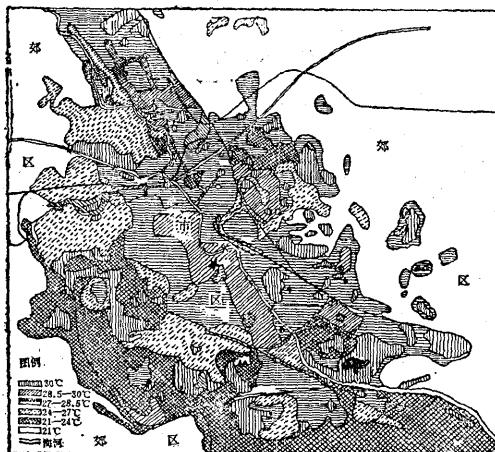


图10 天津市区各种地表辐射温度的分布

岛”。此热岛形状、走向、大小、位置都与建城区一致。其中包括许多小热岛。小热岛面积越大，相对强度越小，一般为3℃；而面积越小，强度越大，最大可达9℃。按所有小热岛面积和其对应强度统计，再进行平均，得出整个建城区内热岛强度的平均值为6℃。

2. 城市下垫面温度场中小热岛的分布与人工热源源强的分布、大小和位置大体上都相一致(见图11)。也就是说，与高温工厂、工

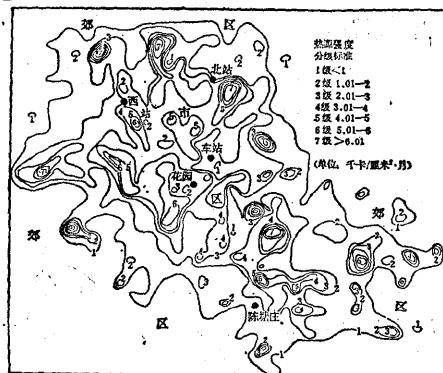


图11 天津市采暖区热源强度分布

业区和居民区、公园、植被等各种不同的下垫面物理性质的分布相吻合。高温工厂区内的气温一般要高于气象台(站)所测的气温，通常高2—3℃。这是在研究城市小气候特点、夏季高温预报和冬季霜冻发布时需特别注意的。

#### 参考文献

- [1] 徐建平，从气象卫星和资源卫星的比较谈气象卫星在非气象领域中的应用，气象，1984年，5期。
- [2] 奥尔登P.科爾沃科雷塞斯等著，汪一飞等译，遥感手册第四分册，13—34页，国防工业出版社，1980。
- [3] O.G.萨顿著，徐尔灏、吴和赓译，微气象学，217—258，高等教育出版社，1959。
- [4] 阎守邕、张圣凯、孙建国著，实用遥感图象光学处理方法相关掩模技术及其应用，1—6，科学出版社，1981。
- [5] 中山大学、兰州大学、西北大学地理系合编，气象学与气候学，161—197，人民教育出版社，1982。

# 《红外航空遥感下垫面温度场的应用》附图



图1 天津市区彩色红外航空遥感照片

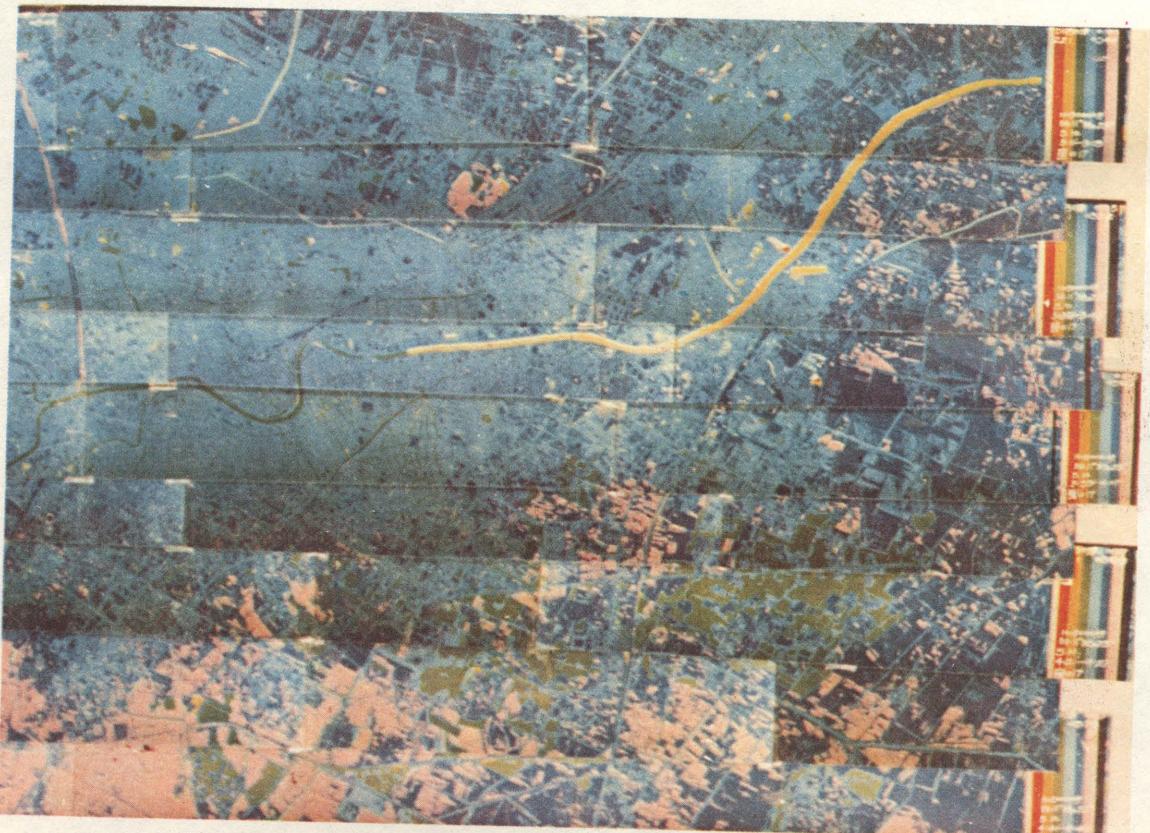


图2 1980年5月10日早晨, 天津市区彩色红外航空遥感照片



图3 1980年9月7日08时，工厂、公园、居民区彩色红外航空遥感照片



图4 1979年5月，高温工厂、烟云彩色红外航空遥感照片

图5 高温工厂区彩色红外航  
空遥感照片

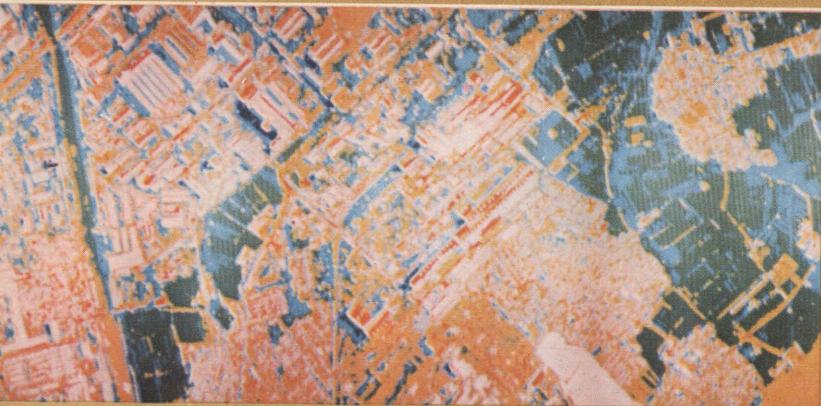
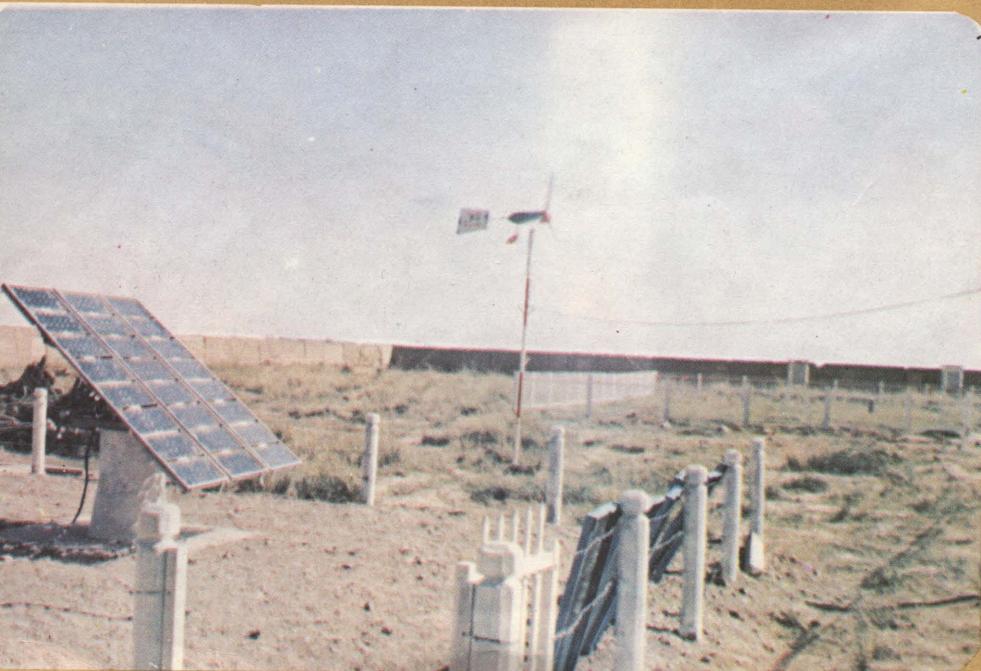


图6 天津市中心高温道  
路网彩色航空遥感  
照片



青海省茶卡气象站安装的太  
阳能电源和风能电源