

# 关于遥感技术监测森林火灾能力的估算

程邦瑜 金晓钟

(黑龙江省森林保护研究所)

1988年5月3日收稿

## 摘 要

本文根据林区背景的温度差异,取火场的平均温度,并在假定可以满足识别目标的信噪比的情况下,计算了机载与卫星(NOAA)遥感系统的监测能力。计算结果与实地试验基本符合。因此,利用卫星、机载和地面三个高度层次的遥感资料的相互印证与补充,并加以对照,可对森林火灾进行早期监测。

**关键词** 林火遥感 红外 背景温度

## 一、引 言

研究用遥感技术监测森林火灾,在国外起始于60年代初期的航空红外探测<sup>[1]</sup>。1971年美国完成了“机载红外林火探测系统”的最终报告。当时试验的主要技术关键是小火目标鉴别(TDM)以及快速成像和图像传输技术。目前美国拥有两架装有行扫描红外系统的专用林火遥感飞机投入业务,一般用于大火成像。对于小火,由于总视场和飞行高度的限制,带条往返飞行搜索经济成本太高,故日常业务只有对火险度高的地区,进行有针对性的小火探测。80年代后,随着卫星遥感应用的开发,利用气象卫星对森林火灾,特别是对偏远地区的监测颇受重视<sup>[2]</sup>。

在我国,70年代就曾对机载和地面红外遥感技术探测林火进行过研究,但这些科研成果连同林业部门从美国引进的红外系统都因技术复杂,经济成本高和管理水平等原因而未获得应用。进入80年代后,随着对外开放和新技术的引进,以飞机和卫星作平台的遥感技术已发展到很高的水平。但在森林防火上应用的重要价值,还是在1987年大兴安岭森林大火后才被充分认识。目前,用于大的火场显示已充分肯定,但对探测小火的要求以及遥测技术能达到的能力看法不一。本文拟就林火遥感系统及其监测能力,从理论分析和实验结果上作些研究讨论。

## 二、林火遥感技术的类型和系统

目前,可用于森林火灾遥感监视技术的类型和系统,比较成熟和正在探索的有表1所列的几种。

这些系统用于监测林火,各有其优点和不足。可见光系统空间分辨率高,但不能透过烟雾,背景与目标有时很难区分。在人烟稀少、交通不便的林区,电视光机扫描光线遥测系统不失为一种可用的林火监测工具,在国外已有应用。

红外特别是中红外(3—5微米)系统用于火情监测在国内外都有成功的经验(美国、苏联等早已投入业务使用)。因为在众多的林火物理特性中,首先它是一个良好的热辐射源。在防火季节,林区干枯细小可燃物的引燃温度约为300℃左右,维持燃烧的温度约为

表 1 林火遥感技术的类型和系统

Table 1 Remote sensing kinds and systems for forest fire detection

类 型	可 见 光	红 外	微 波	激 光 与 相 干 技 术
系 统	电视光机扫描系统 CCD 光电耦合系统	行扫描系统 前视红外系统 (FLIR) CCD 光电耦合系统	微波辐射计	正在研究与开发

550—700℃<sup>[9]</sup>,其主要热辐射能量分布在 3—5 微米区间。为此,探火一般选择 3—5 微米波段。为了对林火目标识别定位,我国研制的 HS-1C 双波段航空红外扫描相机,除采用 3—5 微米波段外,还考虑了林区防火季节背景温度的变化范围,选取了 8—14 微米。极轨气象卫星中的红外通道是 3.55—3.93 微米。红外探测虽受到云和水汽的影响,但因它对热目标有很高的分辨率,因此如果与背景的可见光叠加可给识别定位带来很大的方便。

微波、激光以及相干技术用于监测林火的装置都还处在试验阶段。目前红外系统用得最多,故下述林火遥感技术监测能力的估算都是针对红外遥感系统的。

### 三、林火遥感监测目标与背景信噪比的确定

对森林防火来说,首先关心的是遥感图像及其处理技术在一个大的瞬时视场中鉴别小火目标的能力。这对于尽早地发现初起小火以及对火场外的飞火和扑灭后的余火十分重要。一定的遥感系统对于小火的监测能力,取决于火目标与森林背景的对亮度,取决于它们之间辐射通量的差别,取决于目标所在瞬时视场的平均辐射通量与背景(固定热目标除外)瞬时视场辐射通量之比。

设在波长  $\lambda_1, \lambda_2$  之间,单位面积物体的辐射量为  $W_{\lambda_1, \lambda_2}$ ,则

$$W_{\lambda_1, \lambda_2} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \varepsilon_{\lambda, T} W_{\lambda, T} d\lambda \quad (1)$$

其中  $\varepsilon_{\lambda, T}$  为发射本领。

如果把火目标与森林背景都当作朗伯 (Lambertian) 辐射体,则在单位面积和单位

球面度上的辐射能量为:

$$N_{\lambda_1, \lambda_2} = \frac{W_{\lambda_1, \lambda_2}}{\pi} \quad (2)$$

系统光电传感器接收到的辐射强度为:

$$P_{\lambda_1, \lambda_2} = \frac{A_B}{\pi} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \varepsilon_{\lambda, T} W_{\lambda, T} \frac{A_0}{H^2} \tau_0 \tau_a d\lambda \quad (3)$$

其中:  $A_B$  为辐射体面积,  $A_0$  为接收系统有效通光口径,  $H$  为传感器到辐射体的距离,  $\tau_0$  为光学透过率,  $\tau_a$  为大气透过率。

如果把林火目标当作黑体,则  $\varepsilon_j = 1$ ; 林区背景作为灰体,且  $\varepsilon_b = 0.9$ ;  $\tau_0, \tau_a$  用光谱通带内的均值来代替,则辐射能量的变化只能由温差引起,于是(3)式可简化为

$$P_{\lambda_1, \lambda_2} = \frac{A_B}{\pi} \varepsilon \frac{A_0}{H^2} \tau_0 \tau_a F(T) \quad (4)$$

其中

$$F(T) = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} W_{\lambda T} d\lambda$$

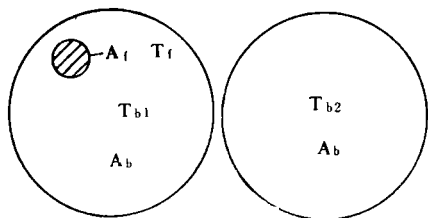


图 1 两个具有不同背景温度的瞬时视场  $T_{b1}$ ,  $T_{b2}$  分别为最低和最高背景温度,  $A_f$ ,  $T_f$  为火目标的面积与温度

Fig. 1 There are 2 IFOV with different background temperature  $T_{b1}$ ,  $T_{b2}$ , suppose  $T_{b1}$ ,  $T_{b2}$  are respectively the lowest and the highest background temperature  $A_f$ ,  $T_f$  are fire area and temperature

如果光电传感器的响应率也是取光谱通带内的均值, 则光电传感器所产生的信号电压可用下式表示

$$V_s = \frac{A_B}{\pi} \varepsilon \frac{A_0}{H^2} \tau_0 \tau_a \mathcal{R} F(T) \quad (5)$$

其中  $\mathcal{R}$  为光电传感器响应率。

考虑如图 1 所示相邻两个瞬时视场, 把含有火目标的瞬时视场对传感器所产生的信号记作  $V_s(b+f)^{[4]}$ , 把不含火目标的瞬时视场信号记作  $V_s(b)$ , 相对于前者, 则后者被当作噪声, 信噪比  $\eta$  可以表示为

$$\eta = \frac{V_s(b+f)}{V_s(b)} \quad (6)$$

$$\text{将(5)式代入(6)式得} \quad \eta = \frac{\varepsilon_f A_f F(T_f) - \varepsilon_b (A_b - A_f) F(T_{b1})}{\varepsilon_b A_b F(T_{b2})} \quad (7)$$

其中:  $f$  为火目标参数,  $b$  为背景参数,  $b_1$  为包含火目标的瞬时视场背景参数,  $b_2$  为不含火目标的瞬时视场背景参数。

#### 四、林区背景的温度分布

由式(7)可知, 用红外遥感技术监测林火, 在其它参数给定的情况下, 林区背景温度的差异成为影响信噪比大小的一个重要参数。为此, 我们曾作过背景温度的测试\*, 图 2 是 1981 年 4 月 8 日和 5 月 7 日在大兴安岭林区测得的三组数据。测试方法是把林区山地的南、北坡依次划分几段, 每段设几个数据采集点, 平均取值, 测试仪器是室内校正好的点温计。测试路线长度约 1.5 公里。结果表明:

- (1) 在日照下的阳坡, 从山脚到山顶, 有植被的地表温差达  $20^\circ\text{C}$ , 阳坡最高温度与阴坡最低温度相差  $24^\circ\text{C}$ 。
- (2) 在晴天山林背阴处, 上下温度分布均匀, 与气象站测值较为一致。
- (3) 阴天和雨后背景温度也较均匀, 阳坡与阴坡最大相差  $3^\circ\text{C}$ 。
- (4) 春天防火期, 河道正处于融冰期, 测得近冰面气温为  $6^\circ\text{C}$ , 冰水温度为  $2^\circ\text{C}$ , 与地表最高温度相差  $36^\circ\text{C}$ 。

根据上述分析可知, 最不利于火目标识别的区域为阴坡或林沿沟塘的低温视场。

#### 五、不同遥感系统监测林火能力的估计

##### 1. 机载红外系统

\* 参加过该项工作的还有孙占文、肖功武、李德勋等同志。

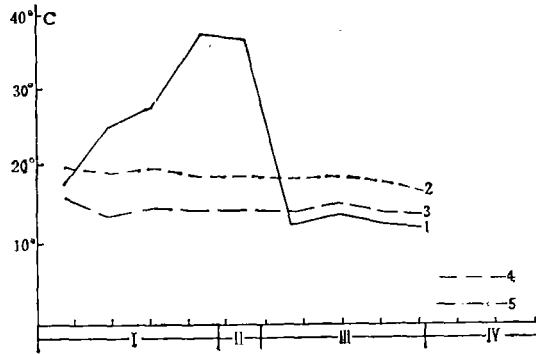


图 2 大兴安岭林区山地背景温度分布  
(1981年4月8日和5月7日)

1—4月8日14:00(晴天),2—5月7日8:00(阴天),3—5月7日14:00(雨天),4—4月8日14:00(近水面),5—4月8日14:00(水温);I—南坡,II—峭,III—阴坡,IV—河流

Fig. 2 Temperature distribution curves of forest background from Daxinganling Mountains(April 8 and May 7, 1981)

机载红外系统用于监测林火,视场与带宽取决于航高。飞机监测适用于偏远林区或高火险区巡护及成灾火场的图像显示,以弥补地面了望台目视观测与卫星监视的不足。因此,这里所说的监测能力,是指尽可能小面积的林火目标而言的。如果假定小火面积为 $0.3\text{米} \times 0.3\text{米}$ ,温度为 $575\text{K}$ ,由(7)式取 $\varepsilon_b=0.9$ , $\varepsilon_f=1$ , $T_{b_1}=286\text{K}$ , $T_{b_2}=312\text{K}$ , $\lambda_1=3\text{微米}$ , $\lambda_2=4\text{微米}$ , $A_b=3\text{米} \times 3\text{米}$ (航高 $3000\text{米}$ ,系统瞬时视场 $1\text{毫弧度}$ ),则算得 $\eta=4.6$ (如果 $\lambda_1=8\text{微米}$ , $\lambda_2=11\text{微米}$ ,则 $\eta=0.7$ ,显然目标就被淹没在背景之中)。根据HS-1C双波段航空红外扫描相机1974年试验的结果,在 $3000\text{米}$ 高空完全可以发现 $0.3\text{米} \times 0.3\text{米}$ 的地面小火,而且还不是该系统的极限能力(因未作更小目标的试验)。根据图像判别经验, $\eta > 3$ 就能分辨清楚。

## 2. 气象卫星的监测能力

气象卫星因空间分辨率较低( $1.1\text{公里}$ ),用于火灾后果调查难于精确,但由于它覆盖面大,一天有四次路过同一地区上空的机会,因此,用气象卫星作火情监测的能力,也就成为人们所关注的问题<sup>[9]</sup>。

这里考虑气象卫星过顶的情况,它的星下点一个像元大约相当于地面 $121\text{公顷}$ 。设该像元内发生一起初起小火(并未充满视场)。考虑 $\varepsilon_f F(T_f) \gg \varepsilon_b F(T_b)$ ,在 $\eta=3$ 的情况下,根据(7)式对火场面积 $A_f$ 进行估计:

$$A_f = \frac{\varepsilon_b A_b (3F(T_{b_2}) - F(T_{b_1}))}{\varepsilon_f F(T_f)} \quad (8)$$

取 $\varepsilon_b=0.9$ , $\varepsilon_f=1$ , $A_b=1.21 \times 10^6\text{米}^2$ , $T_{b_1}=286\text{K}$ , $T_{b_2}=312\text{K}$ , $T_f=575\text{K}$ , $\lambda_1=3.55\text{微米}$ , $\lambda_2=3.93\text{微米}$ ,则可算得 $A_f \approx 100\text{米} \times 100\text{米}$ ,即只要火场平均温度达到 $575\text{K}$ ,面积达到 $1\text{公顷}$ ,就可以鉴别出来。如果火场平均温度在 $800\text{K}$ ,则卫星像片可反映的热点的实际火场面积约为 $40\text{米} \times 40\text{米}$ 。

为了考核气象卫星监测林火的能力,我们利用1987年10月5日在大兴安岭阿里河

林业局计划烧除的现场观测结果和气象卫星的实时照片(CH<sub>3</sub>通道)作对照。用火现场当时(13:30—14:00)火苗高度(h)约1米左右,单位火线上火的强度(I)如果按照Byram<sup>[3]</sup>公式:  $I = 273(h)^{2.3}$  计算,则不到300千瓦/米,是属于低强度火。火场宽度窄处10米左右,宽处可达80米,整个火区是由两片长度约60米到80米(中间断开的距离大约1公里)的火场构成,火头是不规则的断续火线。这说明,即使是低强度火,只要火场不是处在最不利的背景温度条件下,卫星像片发现的尺度可以不到1公顷。与理论估算基本一致。

## 六、结 语

理论与实验证明,要对森林火灾进行及时发现和监测,除靠地面高山瞭望塔和飞机目视观察外,还可采用不同高度层次的遥感技术,以相互补充。经估算,机载红外遥感系统在3000米高空,能分辨小于0.1平方米的小火。在卫星遥感中,因气象卫星具有重复覆盖频度高、资料廉价的优点,利用它不仅可对大面积火场进行监视,而且对于:面积小于一个像元(1.1公里)的小火区(1公顷以下)也能反映。但是,无论航空遥感还是卫星遥感,因小面积火区形成的像点太小,均必须在图像处理中,研究有效的目标鉴别方法,才能收到更好的实用效果。

## 参 考 文 献

- [1] R. A. Wilson, S. N. Hirsch, Airborne IR Forest [Fire Detection System: Final Report, USDA FS, Res. Paper INT-93, 99pp, 1971.
- [2] J. R. Warren, Thermal IR Users Manual, USDA FS, 44pp, 1984.
- [3] C. Chandler et al., *Fire in Forest*, Vol. 1, p. 4—12, Wiley-Interscience, 1983.
- [4] 程邦瑜、金晓钟、金继忠,用红外行扫描器探测林火的双谱方法,红外物理与技术,(2),1979.
- [5] 曹旭峰、蔡登遯,气象卫星是监测林火的一种有效工具,森林防火,(1),1987.

## The Ability of Remote Sensing Technique for Forest Fire Detection

Cheng Bangyu Jin Xiaozhong

(Heilongjiang Forest Protection Research Institute)

### Abstract

In this paper based on temperature difference for forest area, average temperature of fire areas and the supposed signal noise ratio is satisfied for discreteness, The detectability of airborne and satellite (NOAA) remote sensing have estimated. The calculated results agree well with field experiment by remote sensing image checkout. Therefore, using 3-levels (satellite, airborne, and ground) remote sensing can be to complement each other for early surveillance of forest fire.

**Key words** Forest fire remote sensing Infrared Background temperature