

# 航空遥感系统及其在自然灾害监测中的应用

何 欣 年

(中国科学院遥感应用研究所)

1990年3月26日收稿

## 摘 要

本文介绍了我国自然灾害的现状,论述了航空遥感的特点,并简要论述了遥感技术在防灾、抗灾、救灾及灾害损失和影响评估中的作用。介绍了我国高空机载遥感系统的特点及其在洪水和林火监测中的应用实例和效果。

**关键词** 航空遥感系统 自然灾害监测 灾害预测和评估

## 一、自然灾害及其监测概况

自然灾害是一种在来不及适应和防范的状况下就使人类蒙受巨大的生命财产损失、甚至危及人类生存的自然现象。它一方面由其自身的发展规律所制约,另一方面又受人类活动的强烈影响。近年来,世界人口急剧膨胀,人类对资源环境的不合理开发和利用,导致十分脆弱的生态环境进一步破坏,使自然界的大循环失去平衡,更加剧了灾害的形成。据统计,每年全世界因灾害而造成的直接和间接经济损失达850—1200亿美元。我国是世界上自然灾害最严重的国家之一,1989年因自然灾害造成的直接经济损失为525亿元,间接损失更为严重,有的专家估计是直接损失的3—5倍。表1为有关专家统计分析的自然灾害每年对我国造成的经济损失<sup>[1]</sup>。

自然灾害因其带来的巨大经济损失已成为当代最热门的话题,防灾、抗灾、减灾业已成了全球的紧迫任务之一。抗灾、防灾从古代的大禹治水算起已有几千年的历史,然而由于对自然界的现象未能充分认识,人类一直处于被动受害的境地。进入20世纪以来,科学技术的发展,特别是航天、航空技术的发展,使人类能够离开地球从空中观测自己生存的环境,并揭示出一系列过去没有认识到的自然现象,使人类对自然灾害有可能从被动的“防”开始变为主动的“抗”。仅就航空遥感技术的应用而言,美国应用飞机直接穿越台风,准确地探测和指示了台风风眼,解决了预报台风登陆的关键;采用多波段微波辐射计测定云的含水量、垂直气候和温度,实现了准确的气象预报。1962年美国农业部开展了森林火情和制图的热红外航空遥感研究,1983年林业局与NASA投资7.7万美元进行了新一代探火系统可行性研究,1984—1985年共投资30万美元进行初步设计,计划投资169.8万美元建立新系统。法国马特拉公司也在80年代完成了三通道红外扫描林火探测系统,

成功地监测了地中海的森林大火。

表 1  
Table 1

灾害种类	粮食损失 (亿斤)	直接经济损失(亿元)		灾害类型
		分类统计	小计	
干旱	400—500	150—200	420—510	大气灾害
洪涝	200	150—200		
风暴潮	5—10	50—60		
冰雹及低温	30—50	20—30		
森林火灾		50—100		
地震		10—20	80—100	大地灾害
山崩、滑坡、泥石流	5—10	20—30		
水土流失	30—50	20—30		
风沙及沙漠化	5—10	20—30		
人类活动诱发的次生灾害		10—20		
病、虫、鼠、恶草	20—30	10—15	10—15	生物灾害
总计	695—780	510—640	510—640	

早在 70 年代中国科学院就与黑龙江省合作,进行了机载遥感林火探测的研究,取得了能透过烟雾摄取火场、火线及余火图像的成果。1987 年大兴安岭大火后,在国家计委支持下,中国科学院研制了林火航空遥感实时监测系统,实现了实时探测火点,实时定位,实时传输火情图像,提供了一种先进的林火监测手段。1987—1989 年国家科委组织水利部、中国科学院、国家测绘局等部门的有关单位,应用微波雷达及电视摄像技术,对永定河、黄河、长江洪水进行了实时航空监测及图像传输的试验,效果良好。1978 年曾对云南腾冲地区森林松毛虫害进行了航空遥感调查,“七五”期间对黄土高原土壤侵蚀进行了大面积航空遥感调查,近年又在渤海、黄海进行了多次海上污染监测,还利用航空微波辐射计进行了冬季渤海海冰监测,为海上交通及采油平台的保安工作提供了大量科学数据。

综上所述,我国已把遥感技术广泛地应用于各种灾害监测,在方法研究、设备研制、系统建立和科研队伍建设等方面均有了重大进展和良好基础,已经初步形成了一支可以在防灾、抗灾、减灾方面作出一定贡献的科技力量。

## 二、航空遥感在减灾中的作用

自然灾害类型多,空间分布广,时间尺度跨度大。突发性灾害,如地震在几秒钟内即可发生,干旱可延续几个月或几年,而水土流失、沙漠化则可能延续几年至几个世纪。影响自然灾害发生发展的因素很多,人们目前一般还无法阻止它的发生,但却可以在不同程度上作到预测,为防灾、抗灾、救灾、减灾提供条件。遥感的作用正在于此。

遥感信息包括航天信息、航空信息和地面环境信息,相互补充,组成了一个立体监测信息网。其中由于航空遥感具有宏观性强、快速机动、分辨力高、作业效率高和目的性强等

5 大独特的优点,且已获得了广泛应用,故而它在减轻自然灾害中可以发挥重大作用。

### (一) 防 灾

自然灾害的发生与发展有其自然规律,台风的生成与移动路径、地震震前兆、林火温度异常、洪水、滑坡等的生成条件都有其规律,采用遥感技术对其时空特性和光谱特征进行采集分析,在一定程度上实施预测或预警是可能的。1975 年 3 号台风带来的特大暴雨使河南两座大型水库垮坝,10 余米高的洪水造成了十几万人死亡,1 500 万亩农田被淹,铁路中断,损失惨重。而 1981 年 7 月长江荆江段(河床高出地面达 8 米)洪峰将至时,由于作了较准确的预测而作出了不分洪的决定,使 60 万亩耕地免淹,40 万人不致搬迁,仅节约搬迁费一项即达 1 亿多元,减灾效果十分明显。

采用遥感技术可以合理安排工程建设,合理规划土地利用,科学地开发利用自然资源,从而达到防灾的目的。大型水电站和核电站建设地点的选择,以确保地质稳定性为首要条件;合理利用土地从而避免土地的盐渍化、沙化;地下资源的合理开采、避免地面沉降及地层下陷,等等,遥感都可为减灾、防灾起到积极有效的作用。

### (二) 抗 灾

某些灾害的发生是不可抗拒的,特别是一些突发性灾害,来势迅猛,但若能及时掌握其动态变化则对减灾来说意义十分重大。只有掌握灾情实况,才有可能采取最有效的抗灾措施。从前述的航空遥感的五大优点可见,对灾害实施实时监测正是其优势所在。

航空遥感灾害监测系统包括图 1 所示的四个方面。

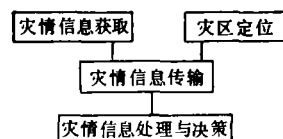


图 1  
Fig. 1

#### 1. 灾情信息获取

表 2 给出了可以获得不同灾害信息的一系列遥感器。这些遥感器覆盖了紫外、可见、激光、红外和微波等很宽的电磁波段,它们可有效地探测各类灾害的空间特性、时间规律和光谱特性,为灾情分析提供信息。

#### 2. 灾区定位

在浩瀚的大海上,茫茫的林海里,无垠的戈壁沙漠中或能见度很低的云雾天气,或者

表 2  
Table 2

技术手段	灾害											
	水灾	旱灾	火灾	病虫害	大气 风暴	冰雪	滑坡、 泥石流	水土 流失	地震 灾情	鼠、 恶草	污染	
彩色红外摄影	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	
电视摄像	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
多光谱扫描	✓	✓	✓	✓		✓		✓	✓	✓	✓	
微波雷达	✓	✓	✓		✓	✓		✓			✓	
微波辐射计	✓	✓				✓					✓	
光谱仪				✓						✓	✓	
激光荧光				✓							✓	

很难区分地标、地物,或者根本就没有地标,此时,要确定灾害发生的准确位置,就必须应用先进的定位系统,如 GPS, LORAN-C, XMS, TRANSIT, TACAN 和 GEOSTAR 等。其中最实用、最有发展前途的则首推 GPS 系统。它是一个由 18 颗工作卫星及 3 颗备用卫星组成的分别在 6 个轨道面上工作的连续性全球定位系统,导航信号由 GPS 卫星发射,接收机收集信息,并根据与 4 颗卫星的伪距离,来确定灾区在三维坐标系中的位置,实时定位精度达几米或更高。

另一类实用的定位系统则是机载惯性导航系统(如美国的 LITTON-72),它可提供实时经纬度坐标,分辨率为 6 秒。虽然惯导系统有时间漂移,一般误差在几十米至几百米,但仍可基本满足很多灾情监测定位的要求。

### 3. 灾情信息传输

传输的信息有灾情图像、各种环境遥测数据以及防灾、抗灾、救灾中的各类数据、报表、命令及话路信息。信息量可达上千兆字节。传输灾情信息可有三种方式。

#### (1) 实时传输

在信息采集的同时将信息转换成适于传输和地面接收的电信号(如全电视信号或数字信号),经通讯卫星式微波中继、有线通讯网络传送至远方抗灾指挥部门,或直接从地面接收站接收。其直接传输距离与地球曲率半径及发射机功率和接收设备的灵敏度有关,一般航高 7 000 米时,传输距离可达 250 公里。

#### (2) 准实时传输

即采集的灾情信息,先记录在存贮介质上(胶片、磁带、磁盘等),在合适的时刻发送到接收站。目前利用合成孔径雷达获取的洪水图像即是准实时传输,一般时延约 3—5 小时。

#### (3) 记录回放

将记录灾情信息的介质通过空中回收、空投,由飞机、汽车传送。

### 4. 灾情信息处理与决策

信息处理包括信息输入、格式变换、运算、特征提取、显示、记录、多种信息复合、配准、灾害信息系统、灾害模型、抗灾专家系统、辅助指挥决策等内容。为了有效实施抗灾,大容量、高速实时处理及灾情信息提取解译与地图复合是关键,近年来已开发了各类硬件系统及并行处理方法。在灾害背景信息库、经济信息系统、环境信息系统、灾害信息管理系统支持下,实现计算机抗灾辅助决策,使抗灾能力提到一个新的高度。

## (三) 救 灾

及时掌握灾情及其发展趋势,从而采取相应的救灾措施,指挥调度救灾力量,合理使用救灾物资,确定灾区人员、物资疏散路线,在信息系统支持下应用遥感技术获取的信息实施快速辅助决策,其时效性及经济效益是显而易见的。

## (四) 灾情评估

灾情损失评估是个复杂的问题,要作到科学、客观评价,遥感技术是非常有效的手段。通过对遥感信息的分析,可精确测定成灾面积并评估灾情程度。我国每年的保险赔偿费

即达 59 亿元,其中相当比例的赔偿,缺乏必要的科学依据。而在龙滩电站建设中,由于采用了遥感技术,仅淹没损失赔偿费一项,即少支付 1 亿元。此外评估灾害对生态环境的影响,以至制定灾后恢复经济、重建家园的方案和规划,遥感技术都可发挥重要作用。

### 三、航空遥感系统<sup>[2-6]</sup>

由于航空遥感的独特优点,世界上各主要发达国家,都相继发展了各类先进的航空遥感系统。美国使用 U-2, SR-71 等高空飞机,装备有 22 种传感器及相应的控制、记录系统;苏联使用安-30 及图-134 等大型飞机装备有可见、红外、微波等多种传感器;澳大利亚、法国也发展了配备有多种传感器的航空遥感系统。

我国遥感从 70 年代开始起步,“六五”期间已完成了一批遥感仪器及应用项目,奠定了良好的基础,“七五”期间得到了国家的重点支持,安排了“高空机载遥感实用系统”及遥感基础研究和应用工程。前者的目标是建立一套从紫外、可见、激光、红外到微波的全天候、全天时多功能遥感实用系统。

我国的“高空机载航空遥感实用系统”具有下列特点:(1)先进性,各传感器指标及系统功能均具有当代的国际水平;(2)实用性,它是一个具有作业能力的实用系统,可应用于国民经济不同领域,如测绘制图、区域规划、资源勘探、环境调查、灾害监测等各个方面;(3)可靠性和可用性,系统结构元器件选择都严格依高标准、互换性、标准化原则进行,使用和维护方便,并具有硬件及软件检测手段,便于快速诊断及排除故障;(4)综合性,传感器波段齐全,可综合采集各类地物、资源、生物、环境信息,并具有实时采集、动态分析、快速处理和输出多种信息的产品能力;(5)灵活性,采用了微机集中监控、记录,用编程方法可实现各种组合操作,可根据实际应用要求采集多波段、多时相信息,经配准复合可满足不同的应用要求等;(6)发展能力,兼顾了现时实用性和未来扩展能力,一系列当代遥感技术的前沿课题,如成像光谱仪、激光传感器、超大容量超高速存储处理技术等使本系统处于国际遥感研究的前沿。

总之,这一系统立足于“六五”,发展在“七五”,着眼于“八五”,表明了我国的遥感技术,已从分散的各个遥感单元,提高到了成套技术和综合系统的新水平。

### 四、航空遥感灾害监测系统应用实例

前述本系统的 6 个特点,在灾害监测应用中得到了充分体现。由于系统从平台、传感器到信息传输的各项处理技术配套,因此在两年内即组成了航空遥感林火实时监测及洪水监测两个系统。

#### (一) 森林火情航空遥感实时监测系统<sup>1)</sup>

1987 年 5 月大兴安岭特大林火发生后,根据国家需要,研制了林火实时监测系统,其

1) 参加研制的单位有中国科学院遥感应用研究所、上海技术物理研究所和空间科学与应用研究中心。

主要功能为：(1)实时探测火情，(2)实时定位火区，(3)实时传输灾情信息，(4)实时现场信息处理。其系统框图如图 2 所示。

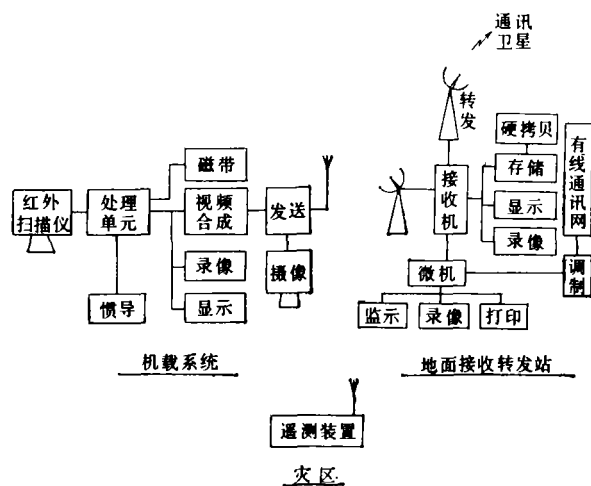


图 2 航空遥感林火实时监测系统

Fig. 2 Blockscheme of airborne remote sensing system for real-time monitoring forest fire

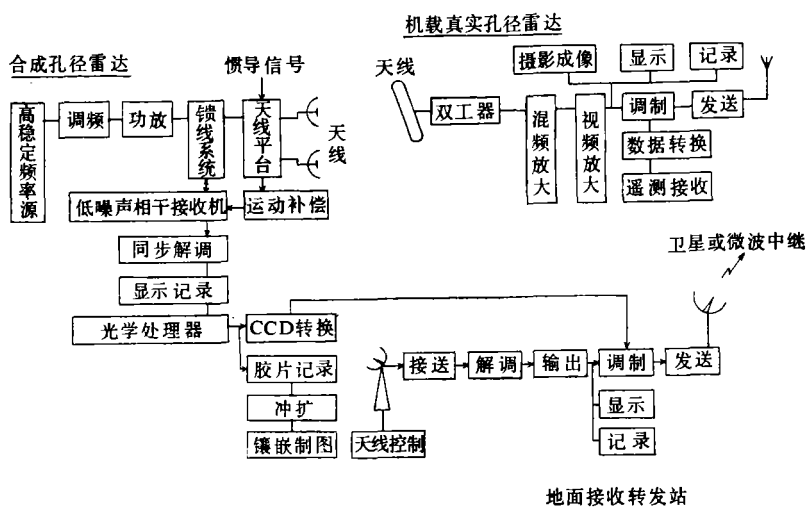


图 3 航空遥感洪水监测系统

Fig. 3 Blockscheme of airborne remote sensing system for monitoring flood

探测火情采用三通道扫描仪：可见（0.4—0.7 微米）和红外（3—5 微米及 8—14 微米）波段。

定位信息采自惯性导航系统，可提供火区经度、纬度、航高、时间等参数并与火情图像一道显示及传输。

火情图像按全电视信号方式传输,地面接收天线自动跟踪,传输距离达 250 公里,远程传输可借助微波中继式通讯卫星进行。

现场信息由 IBM-PC 微机及高速实时图像采集单元 FG-100 进行接收及采集火情图像,由软件处理定位数据,由绘图仪在地图上标出火区并打印经纬度坐标。检测证明,该系统具有很高的探测能力,可在 10 000 米高空探测到几平方米大小的火点,并具有很高的作业效率,航高 9 000 米时,扫描带宽为 21 公里,每小时作业面积在 10 000 平方公里以上,每平方公里的费用只有几角钱。

## (二) 航空遥感洪水监测系统<sup>1)</sup>

### 1. 洪水实时监测系统

图 3 为系统框图。系统采用电视摄像机及真实孔径侧视雷达(K 波段,分辨力 20 米)。由光纤管成像胶片记录,并用磁带录像。经调制由机载天线系统发送到地面,接收后解调输出,记录显示,并可再经调制、发送,由微波中继式通讯卫星远程传送。

### 2. 准实时洪水监测系统

系统采用合成孔径侧视雷达(X 波段,分辨力 10 米,测绘带宽 35 公里)。接收机获取的相干图像,首先在飞机上记录在胶片上。飞机落地后用雷达光学处理器,将相干图像转换为视频图像,由胶片记录,同时用 CCD 转换为视频信号显示,记录或经调制后发送,进行远程传输。

上述两类系统已分别于 1987 年在永定河,1988 年在黄河,1989 年在长江荆江段进行了监测试验,效果良好,获得了国家防汛指挥部门的表彰。特别是 1989 年 8 月使用国产侧视雷达,在夜间恶劣气象条件下,获取了长江洪水的清晰雷达图像,这在我国还是首次,是全天候遥感监测洪水的又一良好开端。

## 五、航空遥感系统发展动向及其在减灾中的应用前景

随着空间技术的进步,遥感器向多波段、高分辨率方向发展,美国研制的 AIS 及 AVIRIS 成像光谱仪,波段数已达 128 和 224 个,分辨率为 10 纳米。我院上海技术物理研究所也开发了 71 波段的成像光谱仪。它们在遥感资源探测方面的应用前景引人注目。

随着波段的增大、分辨率的提高,信息量急剧增加。以成像光谱仪为例,每秒信息量在 4 兆字节以上,每小时容量达 14 000 兆字节。超大容量超高速信息记录系统,接口及处理技术正迅速发展,目前用一般的 VHS 盒带新型记录系统,其容量达 5 400 兆字节,记录密度高达每英寸 5 万比特。

各种实时高速处理技术正在发展中,多通道并行处理技术、光学-数字计算机混合处理技术正取得重大进展。

信息量的猛增,以及灾情等信息实时监测的要求,促进了信息传输技术的高速发展,机一地传输正向小型化及高速数传发展,它具有抗干扰性好、窄带和传输距离远等优点。

1) 参加研制的单位有中国科学院遥感应用研究所、电子学研究所和空间科学与应用研究中心。

而为了使传输具有更高的机动性,机一星一地传输势在必行。

遥感信息源的多样化,加速了信息配准、复合、多时相、多波段和多因子分析的发展,信息系统、知识库、模型库、专家系统等建立,把遥感应用提到了一个新的高度。

遥感技术的发展使其在减灾中的应用获得更广阔的前景。如果说“六五”期间我国遥感技术还处于分散的单元状态,那么“七五”期间则形成了成套技术系统。90年代对遥感减灾应用来说,则应建立多级遥感监测网络,形成立体灾害遥感监测体系,建立国家灾害中心,统一协调与组织减灾活动,加强全国灾害信息系统的建设与辅助决策的研究,建立航空救援队伍,以使航空遥感成为机动、快速反应的灾害监测与救援的核心力量,发挥其在减灾中的积极作用。

### 参 考 文 献

- [1] 孙广忠,中国自然灾害灾情分析,中国自然灾害,学术书刊出版社,1990年。
- [2] 童庆禧,“航空遥感实用系统与应用”前言,航空遥感实用系统与应用,中国科学院遥感联合中心编,能源出版社,1989年。
- [3] 何欣年,高空机载遥感实用系统,同上。
- [4] 白有天,机载多极化合成孔径雷达系统,同上。
- [5] 范忠范等,遥感图像传输,同上。
- [6] 何欣年,森林火情遥感实时监测系统,遥感应用的实践与创新,测绘出版社,1990年。

## AIRBORNE REMOTE SENSING SYSTEM AND ITS APPLICATION IN MONITORING NATURAL DISASTERS

He Xinnian

*(Institute of Remote Sensing Application, Chinese Academy of Sciences, Beijing)*

### Abstract

This article analyses the prevailing circumstances of natural disaster in China and the attractive characters of airborne remote sensing, which are macroscopic, fast, flexible, accurate, high efficient, and purposeful. The author also discusses the effects of remote sensing in reducing disaster: precaution, prognosis and forewarning the possible disaster; fight against natural disaster, real-time monitoring their processes and operation of effective anti-disaster measures; rescue, making decision to direct and dispatch the fight works in accordance with the calamity situation; scientifically estimating their effects on ecology environment and the production in industry and agriculture. Finally, it introduces the Chinese high-altitude airborne remote sensing system's features together with its real application and results in monitoring floods and forest fires.

**Key words** Airborne remote sensing system Monitoring natural disasters Prognosis and evaluation of natural disasters