

# 多遥感卫星接收系统及其数据接收

王新民 韦银高 王万玉 赵克明

(中国科学院遥感卫星地面站 北京 100086)

**摘要** 该文叙述了单遥感卫星接收系统升级改造为多卫星接收系统所进行的研制工作。包括天线跟踪系统与高频信道的改造, 卫星捕获软件的开发, 中频接收解调设备的研制以及系统的总装调试等。

**关键词** 多任务遥感卫星接收系统, 天线跟踪系统, 频率综合可调本振源, 数据接收机, 卫星捕获软件

## 1 前言

中国遥感卫星地面站建成于1986年。当时在空间正常运行的遥感卫星只有美国的陆地卫星5号。地面站的天线与接收记录系统正是针对这一颗卫星而设计的。随着时间的推移, 美国计划发射新一代的遥感卫星, 法国、欧空局、日本、印度、加拿大等国也先后实施了各自的遥感卫星发射计划。中国也将在不久的将来, 发射自己的资源卫星。这些卫星不但使用不同的遥感数据发射频率, 不同的数据调制方式与码速率, 而且其数据下行信道也不局限于一条。为了接收多种卫星的数据, 需要对原有的单卫星数据接收系统进行技术改造与功能扩充。这里包括开发多颗卫星各自所需的轨道预报和天线控制软件, 以捕获多颗卫星; 改造天线跟踪系统和高频信道, 实现对多种发射频率的卫星跟踪和数据变频接收; 研制多卫星的中频接收解调设备, 以获取多卫星原始遥感数据; 还要在高密度磁带上记录这些遥感数据, 完成从捕获跟踪卫星到接收记录数据整个接收系统的组装集成。当时我们的具体目标是为了接收陆地卫星、ERS-1/2和JERS-1 SAR的遥感数据。改造后的系统已正常业务性运行3年多, 已接收了大量TM、ERS-1/2和JERS-1 SAR 4颗卫星数据。我们现在正为接收加拿大Radarsat卫星数据以及其他遥感卫星数据作进一步的扩充。该文就这套多卫星接收系统的扩充改造有关技术作简要介绍。

## 2 天线跟踪系统的技术改造

地面站的天线是由美国Scientific Atlanta公司

制造的。直径10m的天线可在全半球范围内进行双波段(S和X)的自动跟踪。它采用单通道单脉冲(SCM)跟踪体制。其X波段的4个馈源喇叭结构如图1所示。它产生4个等幅度的波束。每个波束

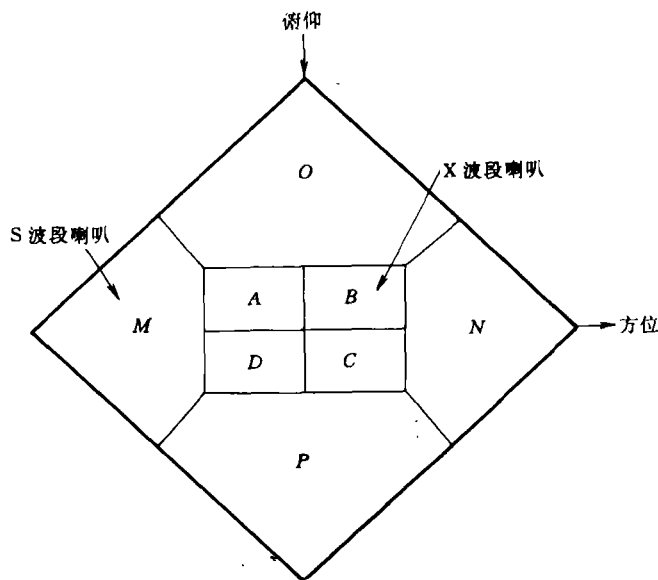


图1 双波段馈源喇叭的排列结构

Fig.1 The configuration of the dual frequency feeder horn  
其中馈源喇叭阵相位中心至反射器半角为 $15.77^\circ$ ; X波段锥形边缘照射:  $8.025\text{GHz}-10.27\text{dB}$ ,  $8.40\text{GHz}-11.72\text{dB}$ ; S波段锥形边缘照射:  $2.2\text{GHz}-10.11\text{dB}$ ;  $2.3\text{GHz}-11.48\text{dB}$ ;

$$\begin{aligned} \text{X波段: } \Sigma &= A + B + C + D \\ \Delta EL &= (A + B) - (C + D) \\ \Delta AZ &= (A + D) - (B + C) \\ \text{S波段: } \Sigma &= M + N + O + P \\ \Delta EL &= O - P \\ \Delta AZ &= M - N \end{aligned}$$

接收到的信号经极化组合器进入单脉冲比较器, 产生和信号 $\Sigma = (A + B + C + D)$ 、俯仰差信号

收稿日期: 1996年11月5日; 收到修改稿日期: 1997年3月17日

$\Delta EL = (A + B) - (C + D)$  和方位差信号  $\Delta AZ = (A + D) - (B + C)$ 。和信号经测试耦合器、信号通道低噪声放大器，由功分器分两路。一路是数据通道，通向下变频器。另一路则由两个差信号经单扫描变换器合成的信号  $\Delta = \Delta EL + \Delta AZ$ ，在跟踪耦合器进行幅度调制，得到跟踪通道的信号。它再经下变频器和跟踪接收机，进入方位与俯仰解调器，输出方位与俯仰误差信号，送入天线伺服系统，控制其方位与俯仰位置，实现天线跟踪的功能(图 1)。

需要指出，这种方位与俯仰跟踪控制方式，要求进入跟踪耦合器的和信号  $\Sigma$  与差信号  $\Delta$  具有相同的相位。在原系统中，设有“拉管”式机械移相器<sup>[1]</sup>，

它位于跟踪通道中低噪声放大器与跟踪耦合器之间。它用电机驱动，设置机械位置，调整移相相位量。在原系统中，它是针对陆地卫星 5 号数据发射频率  $f = 8212.5\text{MHz}$  而设置的。对整个遥感发射频率覆盖范围  $f = 8000\text{—}8400\text{MHz}$  而言，“拉管”式移相器的一种设置是不可能满足整个频段的移相要求的。在实际运行系统中也不可能对每次接收各个卫星时，先作一次机械设置，调整移相。

在此次天线跟踪系统改造时，我们采用 6-bit 移相器取代原“拉管式”机械移相器。它是由 386 微机经微机控制器进行控制的。它对  $360^\circ$  的最大相移量分成 64 个台阶，每台阶相移量为  $360^\circ / 64 = 5.625^\circ$ 。在跟踪某一卫星某一频率信号时，由微机

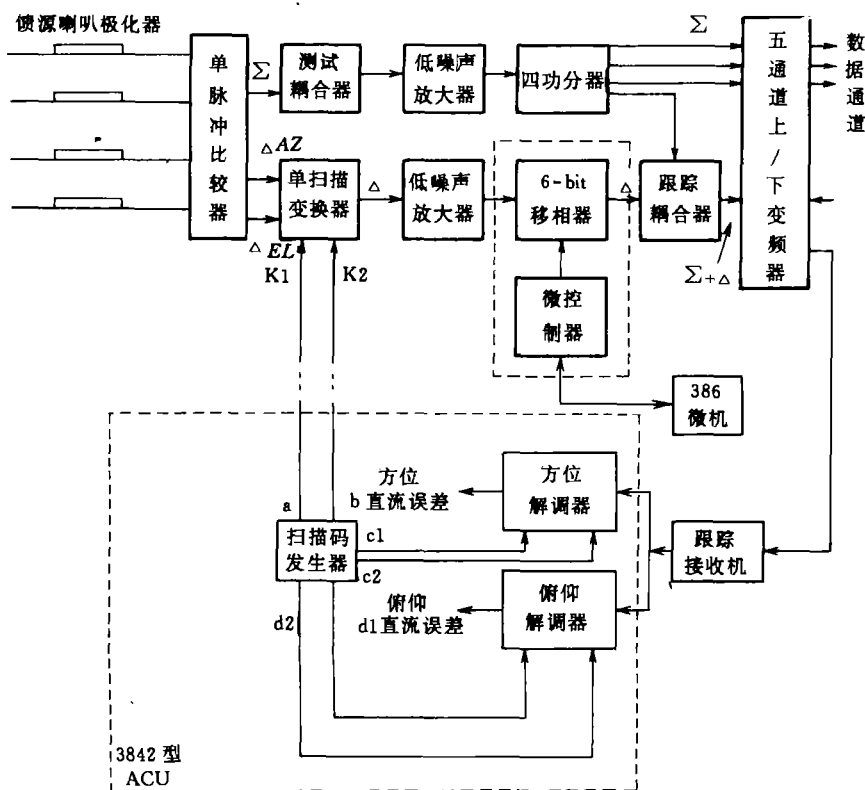


图 2 技术改造后的单脉冲单通道(SCM)跟踪原理框图

Fig.2 The schematic diagram of the SCM tracking system after upgrade

经控制器选择所需的相移量，保证进入跟踪耦合器的  $\Sigma$  和  $\Delta$  信号基本上满足相位相同的要求(相差不超过  $2.8125^\circ$ )，实现天线对卫星的自动跟踪。图 2 是经改造后的跟踪系统图。图中 6-bit 移相器已取代了原系统“拉管”式机械移相器。

针对此次改造计划跟踪的陆地卫星、ERS-1 / 2 和 JERS-1 卫星的频率以及今后计划考虑的 Radarsat、SPOT 和中国的资源卫星的频率，我们实

测并设置了 6-bit 移相器的相移量。测量是用信标塔上建立可调频的信号源，其频率在 8000—8400MHz 内连续可调。然后调整设置移相器，使跟踪通道  $\Delta$  信号与信号通道  $\Sigma$  信号满足跟踪所需最佳条件。表 1 是移相器对多种卫星多种频率所需的相移设置量。我们已用技术改造后的跟踪系统对陆地卫星、ERS-1 / 2 和 JERS-1 4 颗卫星进行业务性的跟踪与数据接收，结果很好。

表1 6-bit 移相器相位设置量

Table 1 The phase setting of the 6-bit phase shifter

序号	卫星	频率 (MHz)	设定相位 (°)	调制方式	数据类型	数码率 (Mbps)
1	ERS-1/2	8040	348.75	QPSK	AMI/RA	1.1K/15
2	L-6/7	8082.5	174.375	QPSK	ETM/ETM <sup>+</sup>	2×75
3	ZY-1	8103	168.75	QPSK	CCD-1	53
4	Radarsat	8105	163.125	QPSK	SAR	105
5	ERS-1/2	8140	0	QPSK	SAR	105
6	JERS-1	8150	0	QPSK	SAR/OPS	60
7	ZY-1	8195.9	270		TR	
8	EROSA/B	8200	281.25	QPSK	HR/MS/ST	35/350
9	ZY-1	8203.5	286.875	QPSK	WFI	1.1
10	L-4/5	8212.5	174.375	UQPSK	TM/MSS	85
11	ZY-1	8216.8	168.75	BPSK	IR-MSS	6
12	Radarsat	8230	303.75	QPSK	SAR	85
13	SPOT	8253	117.50	QPSK	HRV	50
14	ZY-1	8321	258.75	QPSK	CCD-2	53
15	L-6/7	8342.5	264.375	QPSK	ETM/ETM <sup>+</sup>	2×75
16	JERS-1	8350	353.125	QPSK	OPS/SAR	60

### 3 天线高频信道的技术改造与功能扩充

高频信道的改造涉及两个方面。首先是高频频率的上/下变频问题。原来的系统是针对陆地卫星5号而设计的。它采用微波锁相本振，其频率为 $f_0 = 7837.5\text{MHz}$ ，使卫星数据发射频率 $f = 8212.5\text{MHz}$ ，下变频为中频 $375\text{MHz}$ ，送接收机进行解调与信号整理。现在，对多卫星接收系统而言，数据发射频率可是 $f = 8000\text{—}8400\text{MHz}$ 中的任何一个。这些频率信号都需下变频为 $375\text{MHz}$ 中频，进行接收解调等。显然固定频率的本振不适用于多卫星多频率的接收系统的要求。我们设计采用频率综合方法作为可调的本振源，实现多卫星不同频率的上/下频率

变换。

图3是上/下变频部件的方框图。频率综合单元产生基准频率 $119.5\text{—}125.4\text{MHz}$ ，以 $125\text{kHz}$ 步阶调整。这频率信号输入到锁相倍频器，产生 $7650\text{—}8025\text{MHz}$ 的可变本振信号，用以对卫星发射频率信号进行下变频及对测试中频信号进行上变频。频率设置是由微机按卫星需要自动进行的。

高频信道的改造的第二个方面是增加载波下行信道数。陆地卫星6号曾考虑可选用3个发射数据频率，JERS-1则采用2个数据发射频率等等。在我们考虑的改造扩充方案中，确定设置3个信道。

图4是经扩充改造后天线高频信道的方框图。图中可见原系统的二功分器已改为四功分器，三路是数据通道，另一路为跟踪通道。它们的输出送变频器，下变频为所需 $375\text{MHz}$ 中频。自机房送来的

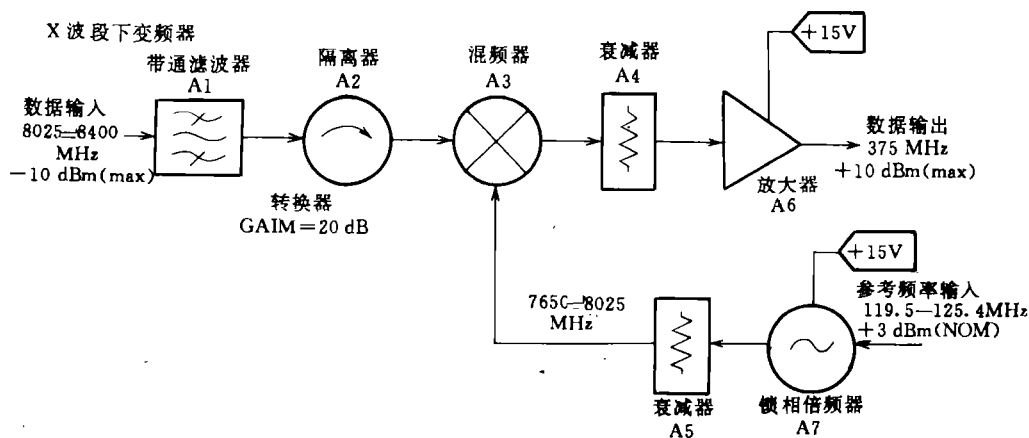


图3 上/下变频部件方框图

Fig.3 Block diagram of the up/down convertor unit

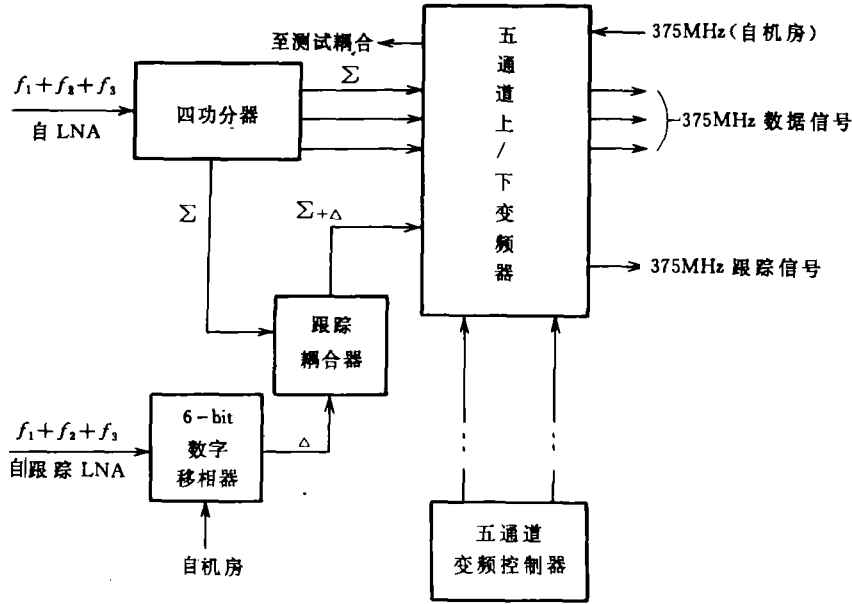


图 4 扩充改造后的天线高频通道方框图

Fig.4 The antenna high frequency channels after upgrade

375MHz 的中频测试信号也经变频器, 上变频为高频测试信号, 送测试耦合器。

改造扩充后的天线高频信道已实际运行 3 年多, 顺利地接收了大量的陆地卫星、ERS-1 / 2 和 JERS-1 SAR 的数据。

通过上述跟踪系统和高频信道的改造, 地面站的天线系统已具备跟踪和接收任何遥感卫星发射的数据, 同时下传信道可多达 3 条。事实上, 经此改造扩充的天线, 也将用于接收加拿大 Radarsat 和法国 SPOT 卫星以及其他卫星数据等。

### 4 ERS-1 / 2 和 JERS-1 卫星数据接收的有关研究及开发

为了接收陆地卫星、ERS-1 / 2 和 JERS-1 卫星数据, 除了利用原有的接收陆地卫星的软硬件设备外, 还需要为 ERS-1 / 2 和 JERS-1 进行一些工作:

#### 4.1 ERS-1 / 2 和 JERS-1 中频接收设备等研制

我们与清华大学合作研制了 ERS-1 / 2 和

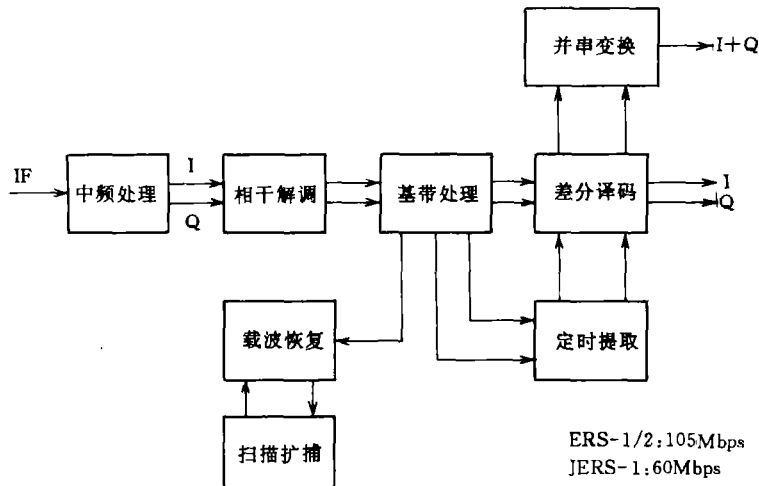


图 5 ERS-1 / 2 和 JERS-1 数据接收机功能框图

Fig.5 Functional block diagram of the ERS-1 / 2 and JERS-1 data receivers

JERS-1 两种卫星的接收机及其相关的数据模拟器和误码率测试仪等硬件设备<sup>[2]</sup>。接收机的功能方框图(图 5)。在接收机的设计中,载波恢复环路采用了先进的通用环方案,其相干载波相位误差信号从基带数字信号处理中获得;采用了通用环加扫描扩捕措施,解决了环路捕捉带宽相对较窄的缺点(ERS-1/2 的数码率为 105Mbit/s)<sup>[2]</sup>。因此,研制的 ERS-1/2 接收机是目前国内产品中数码率最高的接收机。它的可靠性也很好。3 年多实际运行表明,它从未发生故障。

#### 4.2 ERS-1/2 和 JERS-1 轨道预报和天线控制软件开发

欧空局提供的轨道参数是以地固系中  $t_0$  时刻的位置向量  $\vec{r}$  和速率向量  $\vec{v}$ , 而日本则提供恒星系中

的这些参数。需从这些轨道参数确定摄动轨道的  $a$ 、 $e$ 、 $i$ 、 $\Omega$ 、 $W$  和  $M$ , 当进行星历表计算, 最后得到站心地平坐标系天线方位和俯仰值, 以控制天线捕获卫星。由于这两种卫星轨道发射数据段很短, 要求天线能迅速而准确地捕获卫星, 以保证地面站正常运行<sup>[3]</sup>。

### 5 多卫星遥感接收系统的组装集成与数据接收

接收卫星遥感数据的整个工作流程包括从轨道预报和天线控制以捕获卫星开始; 然后天线自动跟踪卫星, 接收其发射的高频数据; 再经频率变换送中频接收机进行解调和信号整理; 最后将遥感原始数据记录在高密度磁带上, 完成整个遥感数据的接

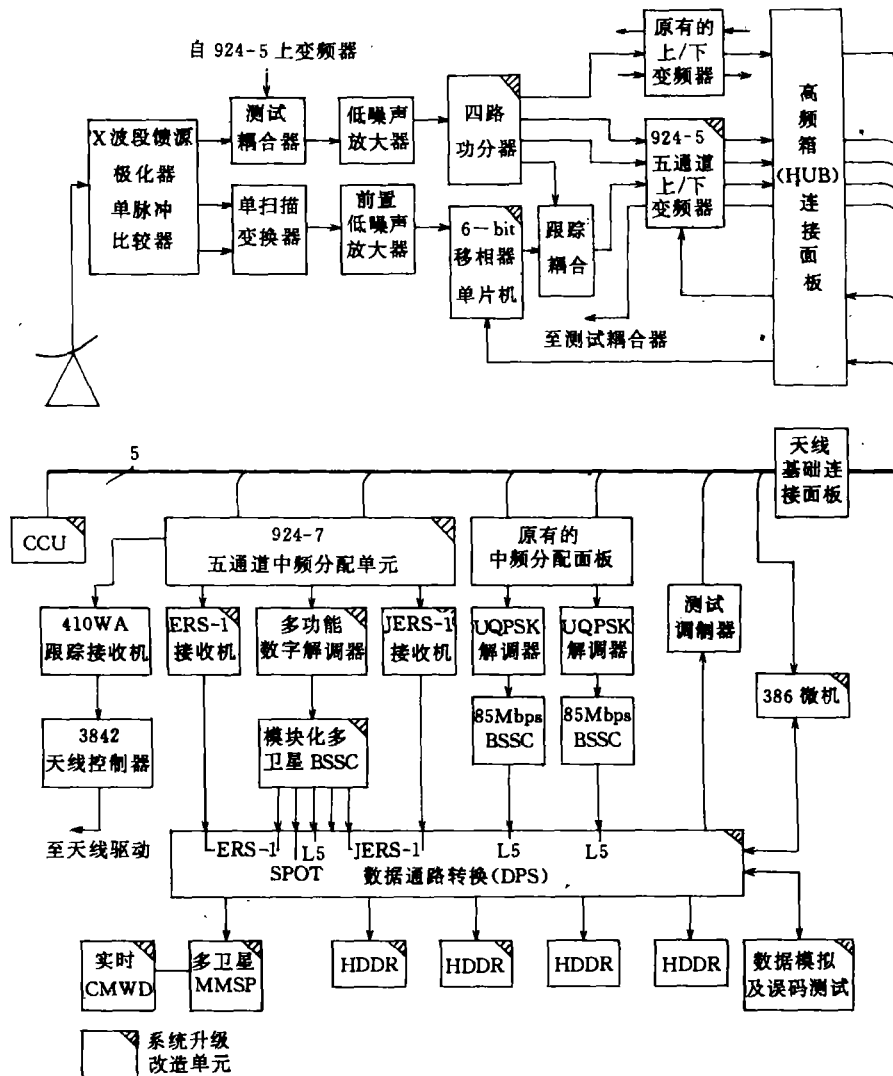


图 6 最后集成的微波及中频接收系统框图

Fig.6 Block diagram of the HF and IF receiving systems after upgrade

收记录过程。这里涉及大量的设备。在此次多卫星遥感接收系统扩充改造中,我们使用了原系统的设备(包括接收记录陆地卫星数据的原有设备),扩充增设了天线改造有关硬件与 ERS-1/2 和 JERS-1 中频接收设备以及新增的高密度磁带机和陆地卫星 TM 实时移动窗显示设备,组成了一个庞大的接收记录系统(图 6)。在中频接收设备中,我们也购置了 Scientific Atlanta 的设备与我们自己研制的设备互为备份,以接收 ERS-1/2 和 JERS-1 SAR 的数据。整个系统已运行 3 年多,接收了大量 TM、ERS-1/2 和 JERS-1 SAR 大量数据。系统运行良好。下面是接收到的数据一些实例。

图版 I 图 7 是 1995 年 1 月 19 日接收到的 JERS-1 SAR 数据。它是中、日、加 3 国合作,用以监测渤海湾海冰实况的。地区处在辽东半岛西边。图象中部浅灰色不规则块状图斑是漂浮海面的冰块。这信息对海上石油开采以及水上航行很有实用意义(接收此景时,引进的接收设备正好发生故障,数据是由我们自己研制设备接收解调的)。

图版 I 图 8 是 1995 年 11 月 12 日接收到的 ERS-2 SAR 数据。它是台湾省的南端一角。从图上明显可见西侧河流出海处污染严重的情况。

图版 I 图 9 是用我站改造后的天线接收到的 TM

数据(1994 年 9 月 12 日接收的)与加拿大提供的 Radarsat 数据(1995 年 12 月 26 日接收的)复合而成的。图象地处韩国汉城。复合后的图象保留了 SAR 对桥梁等较为“敏感”的优点,也利用了 TM 对市内建筑较 SAR 反应更为清晰且有多光谱假彩色的长处。从这些图中可见,经改造扩充后的多卫星遥感接收系统性能是好的,扩充改造工程是成功的。

### 参 考 文 献

- [1] Scientific Atlanta Inc., Operation and maintenance manual, Landsat Ground Station System, 1985.
- [2] 杨知行, 韦银高等. ERS / JERS 遥感卫星数据接收解调技术研究. 星载 SAR 图象处理, 北京: 科学出版社, 1996.
- [3] 韦银高, 王万玉. ERS-1 遥感卫星数据接收. 星载 SAR 图象处理. 北京: 科学出版社, 1996.

### 作 者 简 介

王新民, 男, 生于 1928 年 2 月 3 日, 于 1948 年 7 月毕业于上海交通大学电机系。1960 年在苏联科学院攻读自动控制, 获技术科学副博士学位。现为中国科学院遥感卫星地面站研究员, 从事卫星遥感图象数据的处理研究。曾在自动控制和卫星数据处理领域内发表论文 51 篇, 著有专著 2 册。

## Multi-mission Remote Sensing Satellite Receiving System and its Data Reception

Wang Xinming    Wei Yingao    Wang Wanyu    Zhao Keming

(Remote Sensing Satellite Ground Station, CAS)

**Abstract** In this paper the upgrade of a single satellite receiving station into a multimissional one is described. The tracking system and high frequency receiving channel are modified, the acquisition software for the satellites are developed, the IF receiving and demodulating equipment are produced and the whole system is assembled.

**Key words** Multi-mission remote sensing receiving system, Antenna tracking system, Tunable local frequency generation by frequency synthesizer, Data receiver, Satellite acquisition software



图7 渤海湾的JERS-1 SAR图象

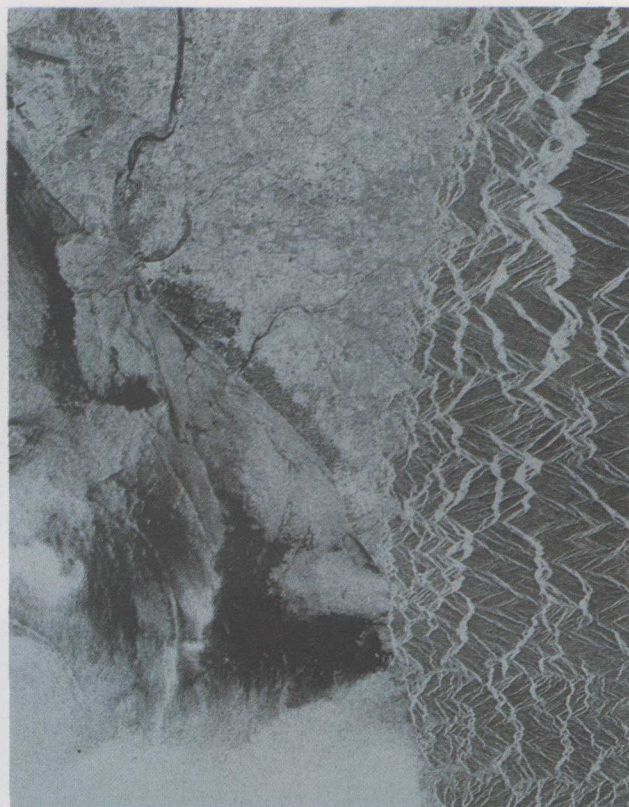


图8 台湾省南部ERS-2 SAR图象



图9 TM与Radarsat韩国汉城合成图