

10 cm 微波辐射计测海冰厚度

金惠琴 杨广林 陈丁人

(中国科学院长春物理研究所)

提 要

本文叙述了 10 cm 微波辐射计的性能、测冰厚的原理。该仪器参加了辽东湾 1986 年冬季航空遥感试验, 初步给出了亮温和冰厚的关系曲线, 画出了航线上的冰型分布曲线。试验结果表明, 用微波辐射计测冰厚是一种很有效的手段。

一、仪器的性能

微波辐射计是测量物体在微波波段的辐射强度, 所接收的是宽带的微弱的噪声信号, 所分辨的最小温度要求小于 1 K, 因此不仅要求微波辐射计具有很高的灵敏度和稳定度, 也要求整机具有足够好的噪声系数和稳定的工作特性。

微波辐射计的灵敏度即最小可分辨温度定义为

$$\Delta T_{\min} = (\Delta T_{\text{rms}}^2 + \Delta T_{\text{ST}}^2)^{1/2} \quad (1)$$

式中 ΔT_{rms} 是理想接收机的输出波动均方根 ΔT_{ST} 是稳定性决定的输出波动均方根, ΔT_{ST} 表示为

$$\Delta T_{\text{ST}} = (T_A - T_r) \frac{\Delta G}{G} \quad (2)$$

式中 T_A 是锁式环行器天线端口的亮度温度, T_r 是锁式环行器参考噪声源端口的亮度温度, G 是接收机增益, ΔG 是增益的变化。

为使仪器满足上述要求我们采用负反馈零平衡迪克式, 这种型式的辐射计是通过系统反馈控制使加到天线信号上的附加噪声 T_N 与天线温度 T_A 之和即 $T_A = T_N + T_r$ 始终等于参考噪声 T_r , 使得 $\Delta T_{\text{ST}} \rightarrow 0$, 因此稳定度只取决于参考源的稳定度, 也就提高了灵敏度。

为使它输出线性好、零点稳定, 采用了脉冲频率调制法注入附加噪声, 反馈电压通过压-频变换器, 使调制注入附加噪声的脉冲频率正比于环行器两端接收到的噪声功率之差, 而且每个噪声脉冲的幅度和宽度尽可能地保持不变, 使其功率近似为常量。这样设计的结果再加上精心的调试使辐射计的输出几乎和本机的增益变化及环行器后的损耗所引起的误差无关, 从而整机具有较好的长期稳定性, 灵敏度小于 1 K, 并且只用一个高于常温的参考噪声源, 结构简单, 调整方便, 适用于机载条件下使用, 10 cm 微波辐射计的原理方框图如图 1。

10 cm 微波辐射计的技术指标是: 亮度温度灵敏度 $\Delta T_{\min} < 1 \text{ K}$ ($\tau = 1 \text{ s}$); 反馈环的响

1986年6月19日收到, 1987年5月15日收到修改稿

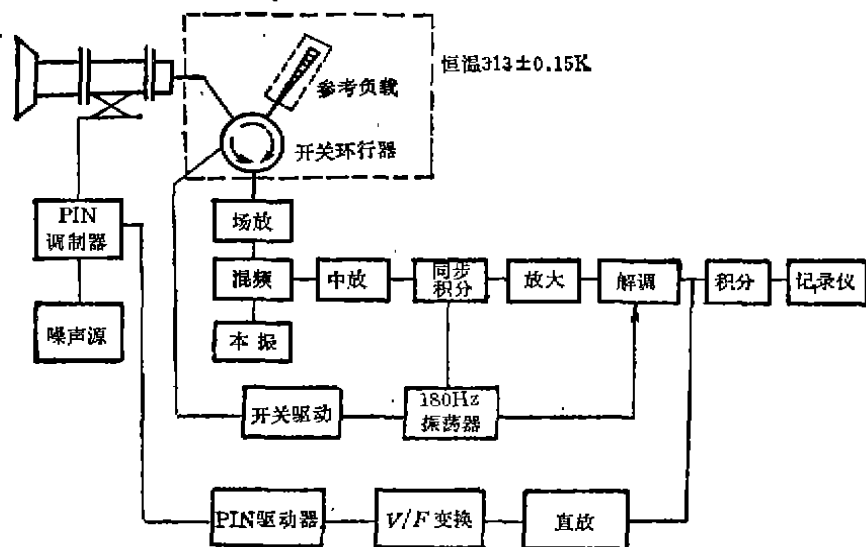


图1 10cm微波辐射计方框图

应时间 $<10\text{ ms}$; 动态范围为 $100\sim300\text{ K}$; 角锥喇叭口径尺寸为 $430\times320\times650\text{ mm}$; 半功率点波束宽度 $2\theta_{0.5\text{E}}=16.5^\circ$ 、 $2\theta_{0.5\text{H}}=18.5^\circ$; 极化方式为水平或垂直; 中心频率为 3090 MHz ; 中频频率为 $30\sim170\text{ MHz}$; 显示方法为 $x-y$ 记录仪。

二、测冰厚的原理

一个处在绝对零度以上的物体, 在所有频率和所有极化上向外辐射电磁能量。微波辐射计是接收物体在微波波段的辐射能量的。 当用一个已知功率去定标辐射计, 例如用改变接在辐射计输入端的匹配电阻的温度或天线照射物体的环境温度来实现定标, 就使辐射计的输出指示出天线所接收的亮度温度。

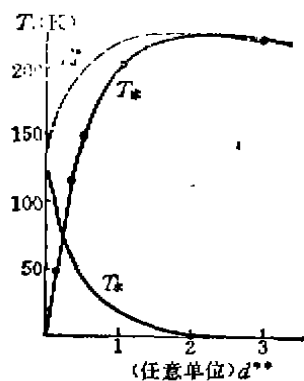


图2 亮温和冰厚的关系曲线
 T^* 辐射计所测到的亮度温度
 d^{**} 根据所用的测量波长
 定长度单位

Edgerton^[1]、Stogryn^[2]等人分别给出了置在某高度的辐射计天线所接收到的亮度温度的计算公式。Adey^[3]等人给出了对于冰水系统亮度温度随冰厚增加的理论曲线(如图2所示)。从图2可以看到微波辐射计所测得的亮度温度是由两部分组成的: 第一部分是冰层下面海水的亮温贡献, 它的一部分被冰层反射, 一部分射进冰层且在冰层传输过程中被衰减, 当冰层的厚度达到一定厚度时海水的亮温贡献就可以忽略。第二部分是冰层本身的辐射, 冰层的每一层薄片均辐射能量, 当冰层的厚度增加时天线所接收的功率也就随之增加, 亮度温度也就增加。如果把冰层看作是光滑表面的均匀介质, 物理温度不随其深度变化。当冰层的厚度达到二倍或二倍以上的测量波长的趋肤深度, 那么天线接收的功率就不再随冰层的厚度增加而增加, 从亮度温度角度来说是达到平衡温度了。

三、飞行试验

1986 年 1 月 10 cm 微波辐射计装在飞机上对辽东湾的海冰进行监测, 飞行高度 600 m; 飞行速度 270 km/h 和 287 km/h; 积分时间常数 $\tau=1\text{ s}$ 、 0.5 s ; 地面分辨率 $S=R_x \cdot R_y=174 \times 195\text{ m}^2$.

图 3a) 是飞行的六条航线上辐射计记录的亮温曲线中的一条, 根据国家海洋局对海冰规范的说明及同步拍摄的电视摄像片对这次飞行所取得的亮温曲线进行初步的解译, 所得的亮温和冰厚, 冰类的关系曲线如图 4. 图 3b) 是对应图 3a) 航线上的冰厚曲线.

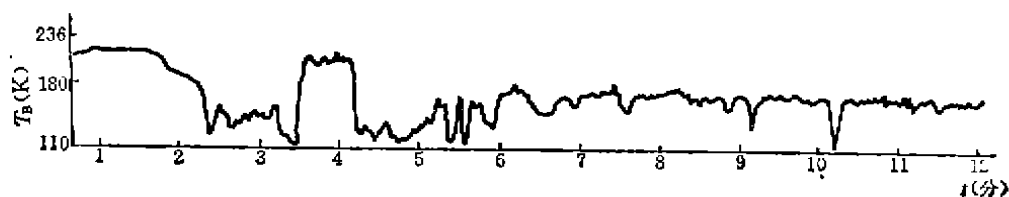


图 3a) 某一航线上的亮温曲线

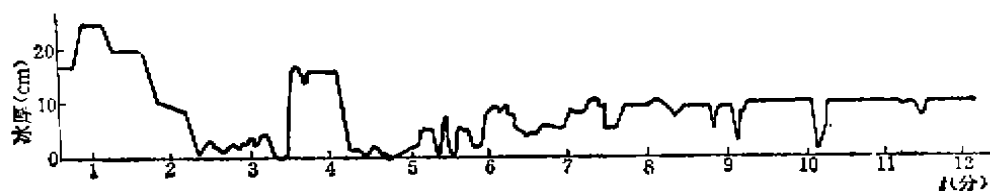


图 3b) 冰厚曲线

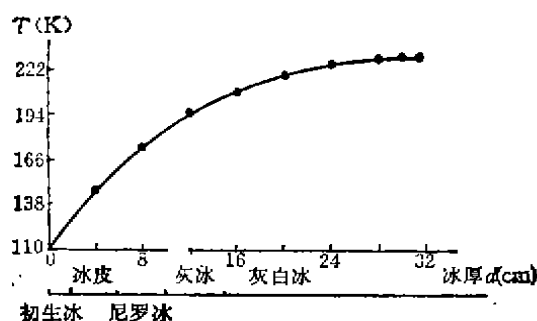


图 4 亮温和冰厚、冰类关系曲线

四、误差分析

1. 仪器定标产生的误差 采用液氮作为准标进行定标, 由噪声源经过四端网络传到接收机的环形器输入端口, 此四端网络由固定衰减器、可变衰减器、同轴耦合器、同轴电缆等组成, 可以算出定标所产生的标准误差为 $\pm 4\text{ K}$.

2. 冰面粗糙度带来的误差 从同步电视摄像片来看, 在航线上尼罗冰, 冰皮占多数, 冰面比较平整、厚度在 10 cm 左右, 亮温的增加基本上反映了冰厚的增加, 但对于灰白

冰,由于它的表面比较粗糙,凹凸不平,冰脊和重叠现象严重,尤其在靠岸边还有许多雪和沙土的堆积物,故粗糙度对亮温有较大贡献,亮温的增加并不一定反映冰厚的增加。

五、结 束 语

从实验结果来看,微波辐射计测冰厚是一种有效的遥感手段。海面结冰之后观察目标单一,受其他因素影响小。尤其在冰不太厚,冰面比较光滑时亮温的变化基本上反映了冰厚的变化。对于我国辽东湾水域,冰期短,冰厚一般不超过 30 cm,故用 10 cm 微波辐射计可以大致地确定冰型了。为了更准确地测得厚冰层,应研制较低频率的微波辐射计,如 1.4 GHz 的微波辐射计。

参 考 文 献

- [1] A. T. Edgerton, A. Stogryn, et al., Passive Microwave Measurements of Oceanographic Phenomena, Ice, and Sediments, AD 715645
- [2] A. Stogryn, The Brightness Temperature of a Vertically Structural Medium, Space Division, Aerojet-General Corp., March 27(1969)
- [3] A. W. Aday, et al., Theory and Field Tests of a UHF Radiometer for Determining Sea Ice Thickness N72 31449 H2/14 35199

MEASURING SEA ICE THICKNESS WITH 10-CM MICROWAVE RADIOMETER

JIN HUIQIN YANG GUANGLIN CHEN DINGREN

(Changchun Institute of Physics)

Abstract

This paper describes the performance of the 10-cm microwave radiometer developed in our laboratory, as well as the principle and the method for the measurement of ice thickness. This equipment was used to conduct experiments during the flight test in Liaodong Bay in 1986. The characteristics of the brightness temperature changes with the ice thickness and the distribution of the ice types on the flight-path have been obtained. The results of the test show that the radiometer is very effective for the measurement of ice thickness.