

卫星监测海洋

卡尔·海因斯·斯捷凯尔达*

1988年4月26日收稿

摘 要

海洋及沿海地区是经济开发的重要区域。因而,许多卫星是为在电磁信号(FMS)的不同波段上进行遥感服务的。海洋的颜色和海表面温度是高技术可以对之进行作业性监测的参数。工作在微波频率的传感器也可能很快地投入运行。

海洋是积蓄热能的主要场所,因此它对于全球及区域性气候起着至关重要的作用。吸收的一半以上的太阳辐射以及海面上的风能是海洋物理过程中的基本能源。吸收太阳热辐射主要是在深约100米以上的表层进行的。海洋与大气之间不断地进行热交换,对于引起气候变化的海洋中其它物理过程起着相对重要的作用。海洋的热能,一部分用于表面蒸发,以潜热能的形式储存在云层中,一部分保存在海面的表层中,还有一部分由于海洋中的各种力学及热力学过程而传入深层海水中。海洋中能量最大的运动是中尺度涡旋,它能够持续几个月,波及几百公里的范围。

全世界的海岸线总长度约为45万公里。设沿海地区的平均宽度为80公里,其中陆地面积占50%,则全世界的沿海地区陆地面积占全球陆地面积的12%,即约1813万平方公里;由浅海及大陆架组成的沿海地区水域覆盖面积,约为7510万平方公里。

发生在相对狭小和有限的沿海地区的大规模活动,得到了迅速地增长,在工业化国家的沿海地区已经有了很大的发展。例如,美国40%的沿海地区现在已经被开发,而荷兰75%的沿海地区正在进行开发。

开发沿海地区的许多重要工作正在计划中,而且有继续增长的趋势。例如:以主要港口城市为中心,实现以工贸集中为特点的大规模都市化;开发海洋资源(包括生态和非生态资源);开展旅游业和疗养业等。

沿海地区的综合开发利用需要良好的综合管理。尽管资源管理在许多国家已经得到了充分的重视,但从当前来看海洋管理却显得越来越重要。管理的重点是控制沿海地区开发项目的种类和规模,确定各项海洋资源在整个国家资源体系中所占的比重。

为了更好地管理和开发海洋资源,应该同时开发沿海地区的其它资源,以便为沿海地区的资源开发提供有效的支持和服务。

NIMBUS7, 海洋卫星 Seasat 及全球业务环境卫星(GOES), 已经完成了一些海洋科学研究及资源普查项目。其它一些卫星,虽然它们不是专门用于海洋调查的,但它们在

* 作者在纽约联合国技术合作开发部门工作,系纽约市大学的兼职教授和中国科学院遥感应用研究所的客座研究员。本文阐述的观点是作者的看法,并不一定代表联合国的意见。

编者注:本文系本刊特约稿件。原稿为英文,王松译,田国良校。

表 1 在今后十年中将要发射的海洋遥感卫星
Table 1 Ocean-related spacecraft: Next decade

卫 星	发 起 者	海洋传感器/说明
GEOSAT	美国海军	高度计
DMSP	美国空军	微波辐射计
	NASA	微波辐射计接收/处理设备
MOS-1	日本	水色扫描仪、红外辐射计、微波辐射计
ERS-1	欧洲空间局	高度计、合成孔径雷达、散射计、红外辐射计
	NASA	合成孔径雷达接收/处理设备
NROSS	美国海军	高度计、微波辐射计
	NASA	提供散射计
TOPEX	NASA	高度计
ERS-1	日本	合成孔径雷达
	NASA	使用合成孔径雷达的数据(接收/处理)设备
SPOT-3	法国国家空间科学中心	搭载测高计
	NASA	搭载水色扫描仪
RADARSAT	加拿大	合成孔径雷达
	NASA	提供发射服务
	NOAA	提供散射计
	英国	提供卫星(载体)
GRM	NASA	卫星-卫星跟踪系统

红外、微波及可见光波段获得的资料表明,这些资料在海洋科学研究领域中也具有应用价值。在实验的基础上,这些卫星已经用于获取有关海面悬浮物、海流范围、海深、海冰覆盖、海风及海面温度的数据。

有关卫星应用于海洋研究的详细资料,请参看 Epstein 等人(1984)、Kidwell (1984) 和 Needham (1986) 的有关文章^[2,5,7]。

表 1 为有关将来用于海洋科学研究的卫星。

海洋空间遥感技术

高度计 (ALT)

它是一个用来测量卫星和地面之间距离的波束雷达。可以用来测量海面起伏和海面粗糙度,由此可以估算出海面浪高平均值和表面海流。

水色扫描仪 (CS)

实际上是一台辐射计,用它可以在可见光和近红外波段测量卫星覆盖范围内的海洋辐射强度,可以获得海洋水色,并由此估算出叶绿素含量,漫射衰减系数及其它的生物光学特性。

红外辐射计 (IR)

它是一台在红外波段测量卫星覆盖范围内海洋发射的辐射强度的辐射计。用它可以

微波辐射计 (MR)

它是一台在微波波段测量卫星覆盖范围内海洋辐射强度的辐射计。它可以测出微波亮度温度,由此估算出风速、水蒸汽、降雨率、海面温度及海冰覆盖情况。

散射计 (SCAT)

它是一台用来测量卫星一侧覆盖范围内海面粗糙度的微波雷达,空间分辨率为 50 公里。用它可以测量与局部风速相对应的短平面波的幅度,由此可以估算出海面风速。

合成孔径雷达 (SAR)

它实际上是类似于散射计的微波雷达,采用的是电子合成方法,将天线做得足够大,使空间分辨率达到 25 米。它可以测出一些特征信息(如:涨潮、间隔波、降雨及海流边界等),这些信息是通过测量短平面波振幅得到的。用合成孔径雷达也可以确定海水的位置及特征,进而可以估算出海冰的漂移速度。

GEOSAT

这是由美国海军资助的项目,它用来为国防部制图局(DMA)提供大量的类似于海洋卫星的高度计数据。它首先需要完成 18 个月的大地测量任务,对海洋水准面进行制图,6 个月后可望制成一份地图。卫星每绕地球运行一周偏离赤道 18 公里。此后 18 个月将进行海洋调查任务,卫星运行一周为 20 天,每周偏离赤道 150 公里。通常最初 18 个月测得的平均海面数据将进行分类,其余的数据不进行分类。

DMSP

这是为美国空军向太阳同步轨道发射的气象卫星系列。计划在 1985—1991 年间发射。卫星上安装微波辐射计(它是一种特殊的微波遥感成像仪,即 SSMI),频率采用 19—85 千兆赫的四种频率。获得的 SSMI 的数据资料对于研究海冰、积雪覆盖,海面风速及大气含水量是非常有用的。美国国家航空航天局(NASA)计划用获得的这些数据资料进行分析研究。(美中不足的是,SSMI 数据无法用来估算海面温度)

MOS-1

发射这颗卫星的目的是为了采用日本技术建立地球观测站并且实施对地球的实际观测,观测对象主要是海洋。MOS-1 采用完全无源的被动方式,寿命为 2 年,采用太阳同步轨道。MOS-2 是 MOS-1 之后继星;但是 MOS-2 将选择什么传感器和运行轨道还没有确定。

ERS-1

这是欧洲空间局(ESA)为开展海洋及应用科学研究项目而计划发射的卫星。主要目的是为了利用遥感数据建立和开展海洋及海冰的应用项目研究。计划采用太阳同步轨道。欧洲空间局成员国已经通过关于实施 ERS-1 的一揽子计划,同时已经开始了对 C 波段的研究工作。ERS-2 是 ERS-1 之后继星,利用 ERS-1 的备用设备。

NROSS

这颗卫星是美国海军和 NASA 及 NOAA 的合作项目。NASA(提供一台散射计)和海军已经通过了 1985 年财政年度的预算。海军目前计划采用与 DMSP 相同的卫星载体。该项目被用来检验进行卫星海洋观测能在多大程度上满足海军的特殊需要。这颗卫星采用太阳同步轨道,设计寿命为 3 年,并且作为整个 DMSP 项目的一部分。作为对

SSMI 的补充,它将装载一台用于估测海面温度的较低频率的微波辐射计。由 NASA 提供的散射计测得的数据将用于补充测量海洋环流的 TOPEX 的数据。

ERS-1

这是一个缩写名与欧洲空间局的 ERS-1 相同的日本卫星。它采用合成孔径雷达建立地球观测系统并对地球实施实际观测,初步目标用于地球观测。该卫星的运行轨道为太阳同步轨道,装有一台设计寿命为两年的 L 波段合成孔径雷达。目前正在进行初步设计和定性研究工作。

TOPEX

它是一个海洋面起伏测量实验卫星,其上装有一台专用测高计,将它获得的数据与 NROSS 上散射计获得的数据结合起来,可以使我们了解海洋的一般环流情况。该卫星运行的轨道参数为:轨道交角 63° ,高度 1300 公里,赤道轨迹偏移量为 300 公里,卫星每 10 天绕地球运行一周。跟踪系统采用国防部测图局 (DMA) 的 Tranet 系统。两个选择方案之一是用航天飞机发射。卫星的设计已经完成。按照目前的计划,TOPEX 发射后将可以有 20 个月的时间与 NROSS 一起发挥作用。

POSEIDON

这是法国国家空间科学中心 (CNES) 的发展项目,目的在于开发利用卫星测高计及有关的跟踪系统 (DORIS) 进行海洋和海冰的研究。考虑中的两种方案之一是搭载法国的 SPOT-3 号卫星。该项目的实施是基于如下考虑的,在可搭载的卫星上实现低能耗、低成本、长时期对海洋及海冰进行监测。

TOPEX/POSEIDON

TOPEX 和 POSEIDON 的另一方案是由 NASA 和 CNES 合作共同完成这一合作项目。对这一合作项目的调研工作已经完成。按照这一合作计划,将由 NASA 提供卫星和 TOPEX 传感器,由 CNES 提供 POSEIDON 传感器及发射服务。

OCI

NASA 正计划把目前 NIMBUS-7 号卫星上装备的海岸带水色扫描仪的改进型 OCI (即海洋水色成像仪) 送入太空。有两颗卫星可供选择来作为搭载工具:一颗是 NOAA-K 气象卫星,另一颗是法国的 SPOT-3 卫星。

GRM

该项目用于研究地球的重力场和磁场;它可以为我们提供海平面下 100 公里范围内的重力场和磁场资料。GRM 计划采用双卫星系统方案,飞行轨道高度为 160 公里。

RADARSAT

该项目采用 C 波段合成孔径雷达监测北坡外的海水特征,加拿大对于在这一地区开发油田很感兴趣。它可以为海冰预报提供依据。加拿大政府已经拨款资助 RADARSAT 及其地面(接收)设备的具体设计研究工作(地面设备也用欧洲空间局的 ERS-1 接收)。NASA 和 NOAA 也正在考虑参与这一项目,由 NASA 提供航天飞机发射服务,由 NOAA 提供散射计。

SPOT

(C)1994-2021 它实际上是与美国陆地卫星系列类型相同的法国卫星。作为对以陆地为测量对象的

可见光辐射计的补充, SPOT-3 和 SPOT-4 还可以另外搭载 1 到 2 台传感器。SPOT-3 计划在 90 年代中期发射, 目前考虑让它作为 OCI 和 POSEIDON 的空间平台(搭载工具)。

LANDSAT 6

在同一台辐射计上利用红外波段上两种不同的波长, 使用户既可以获取甚高分辨率辐射计图像又可以从同一辐射计获得相关连的海洋水色数据。

理论问题研讨

沿海资源的普查不仅需要在水域特性进行测量, 而且应该对有关陆地、空气、海洋及

水域边界的各种参数进行测量。采用最新的遥感手段对陆地进行观测, 例如采用 SPOT 和陆地卫星的 TM 图像, 从理论上讲已经是比较成熟的了, 而对于海洋遥感, 目前只有大面积海温测图是成熟的。

目前已实现了用陆地卫星和气象卫星(NOAA)进行水质和粒子含量的监测。但对于更多的特定物质, 如叶绿素, 则需要对其波谱信息进行更复杂的分析(图 1)。

Gordon 等人^[4] 1980 年发表的文章中采用回归分析的方法, 将叶绿素和褐藻的 a 浓度与不同波长的辐射度比值之间建立起函数关系:

$$R_1 = L_W^{443}/L_W^{550}, R_2 = L_W^{550}/L_W^{550} \quad (1)$$

通过 $\log C_i = \log a + b \log R_i, i = 1$ 或 2

式中系数 $\log a$ 和 b 对应于 R_1 为 -0.297 和 -1.269 , 对应于 R_2 的常系数分别为 -0.074 和 -3.975 。

消除气溶胶对测量结果的影响是采用如下的近似方法实现的。设在波长为 λ 的情况下接收到的总辐射度为 L^λ 可以将它划分为 3 部分: 瑞利散射 (L_R^λ), 气溶胶散射 (L_A^λ), 及穿出海面并穿过大气的后向散射 (L_W^λ), 它可以表示为:

$$L^\lambda = L_R^\lambda + L_A^\lambda + t^\lambda L_W^\lambda \quad (2)$$

式中 t^λ 是大气透过率。

假设气溶胶散射相位函数与波长 λ 无关, 那么, 两个不同波长下的 L_A^λ 近似成正比。现取两个不同波长 λ_1 和 λ_2 , 代入(2)式, 则:

$$t^{\lambda_2} L_W^{\lambda_2} = L^{\lambda_2} - L_R^{\lambda_2} - \alpha(\lambda_1, \lambda_2)[L^{\lambda_1} - L_R^{\lambda_1} - t^{\lambda_1} L_W^{\lambda_1}] \quad (3)$$

式中 $\alpha(\lambda_1, \lambda_2)$ 是只考虑散射的情况下与气溶胶的光学特性有关的常数。如果选择一个

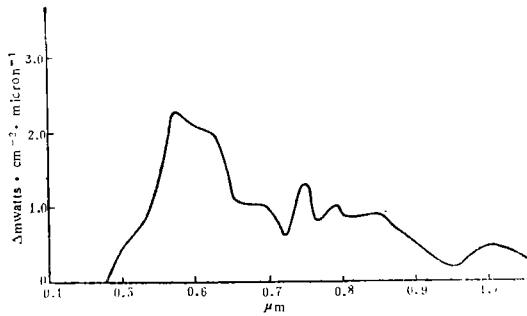


图 1 在海湾溪流及近海岸水体中的特殊物质的光谱响应

Fig.1 Spectral response of particulate matter in sea water based on overflights of the Gulf stream and near coastal waters(after Szekiolda, 1976).

λ_1 的值,使 $L_{\lambda}^{\downarrow} \sim 0$, 则对于任意的 λ_2 , 由上式可确定 L_{λ}^{\downarrow} 的值, 因此 $\alpha(\lambda_1, \lambda_2)$ 也可确定。除了非常混浊的地区以外, 对于海岸带水色扫描仪 (CZCS) 来说, 选择 λ_1 为 0.670 微米是最适合的。在分析 Gordon 文章中的 CZCS 图像时, 由图像上一个位置直接测量的 L_{λ}^{\downarrow} , 用(3)式算出 $\alpha(\lambda_1, \lambda_2)$, 这个结果适用于整个图像(图 2, 图版 1)。

关于纯水的波谱特性问题, 由于水中存在着其它物质, 诸如海藻、珊瑚礁及悬浮物等, 因此估算光在水中的穿透深度问题是非常重要的。Charnell 和 Maul 曾在不同波段的情况下对海水的穿透能力进行过计算^[1]。这些计算实际上是解下面这个光强度方程:

$$I = \int_0^{\infty} \Phi_{\lambda} I_{0\lambda} e^{-\alpha_{\lambda} z} d\lambda \quad (4)$$

式中 I 是在深度为 Z 的海水中通过带通滤波器 Φ_{λ} 观察到的电磁波的强度。带通滤波器 Φ_{λ} 是在波长 λ 的整个区间按光谱间隔归一化的, 是电磁波在海面时的强度, α_{λ} 是光谱衰减系数。

通过计算, 在 2 米深处安放一个全反射器, 则对于 0.5—0.6 微米波段, 有 86% 的入射光(能量)被反射回去; 对于 0.6—0.7 微米波段, 有 55% 的入射光能被反射, 在 0.7—0.8 微米波段, 有 11% 的入射光能回到水面; 而 0.8—1.1 微米波段, 只有 2% 的入射光能被反射到水面。这些结果从另一个方面表明, 用卫星遥感的方法测量叶绿素及悬浮物浓度存在着缺陷, 因为在靠近海面的一层低浓度悬浮物的光谱响应相似于较深水体中高浓度的物质对它的响应。

在无云的条件下, 红外卫星传感器很容易测出热量梯度(温度变化), 因而能准确测出海面温度 (SST)。对于大比例尺制图, 则需要采用统计的方法估算出大气对测量结果的影响。到目前为止, 最先进的大比例尺制图系统, 采用多通道海面测温法得到的是坐标间隔很大的数据, 但与在南大洋上靠船进行测量的方法相比, 还是具有很高精度的^[9]。图 3 是一个实例。

在检验海面温度测量时, 需要注意由一个传感器所观察的辐射是目标发射的辐射, 发射辐射和大气成分相互作用及从表面反射辐射的函数。由于水具有高发射率, 可假定为 1, 因此反射可以忽略不计。

用数学方法来描述, 在晴朗的天气条件下辐射的成分可表示为:

$$N_s = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} e_s(\lambda) \beta(\lambda, T_s) d\lambda \quad (5)$$

式中 N_s 是在海面温度为 T_s , 在 (λ_1, λ_2) 的带宽内由海面发射的总能量, β 是普朗克辐射度, e_s 是海面发射率。且有

$$N_a = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \int_{P_0} \beta[\lambda, T(P)] \frac{d\tau(\lambda, P)}{dP} dP d\lambda \quad (6)$$

式中 N_a 是在 (λ_1, λ_2) 通带内大气的辐射能, $T(P)$ 是气压为 P 的平面的大气温度, $\tau(\lambda, P)$ 为从气压 P 的平面到气压为 0 的大气层顶的大气透射率。 P_0 是海面大气压。因此由海洋监测卫星(辐射计)在波段 (λ_1, λ_2) 范围内接收到的总辐射能量为 $N(T)$:

$$N(T) = N_s \tau_s + N_a = N_s - (N_s \alpha_s - N_a) \quad (7)$$

采用微波波段测量的海洋亮度温度, 比短波波段的测量结果相对要小些。亮度温度的大小与含盐量、温度、表面粗糙度、频率、极化方式及入射角度有关, 如 Tomiyesu 1974

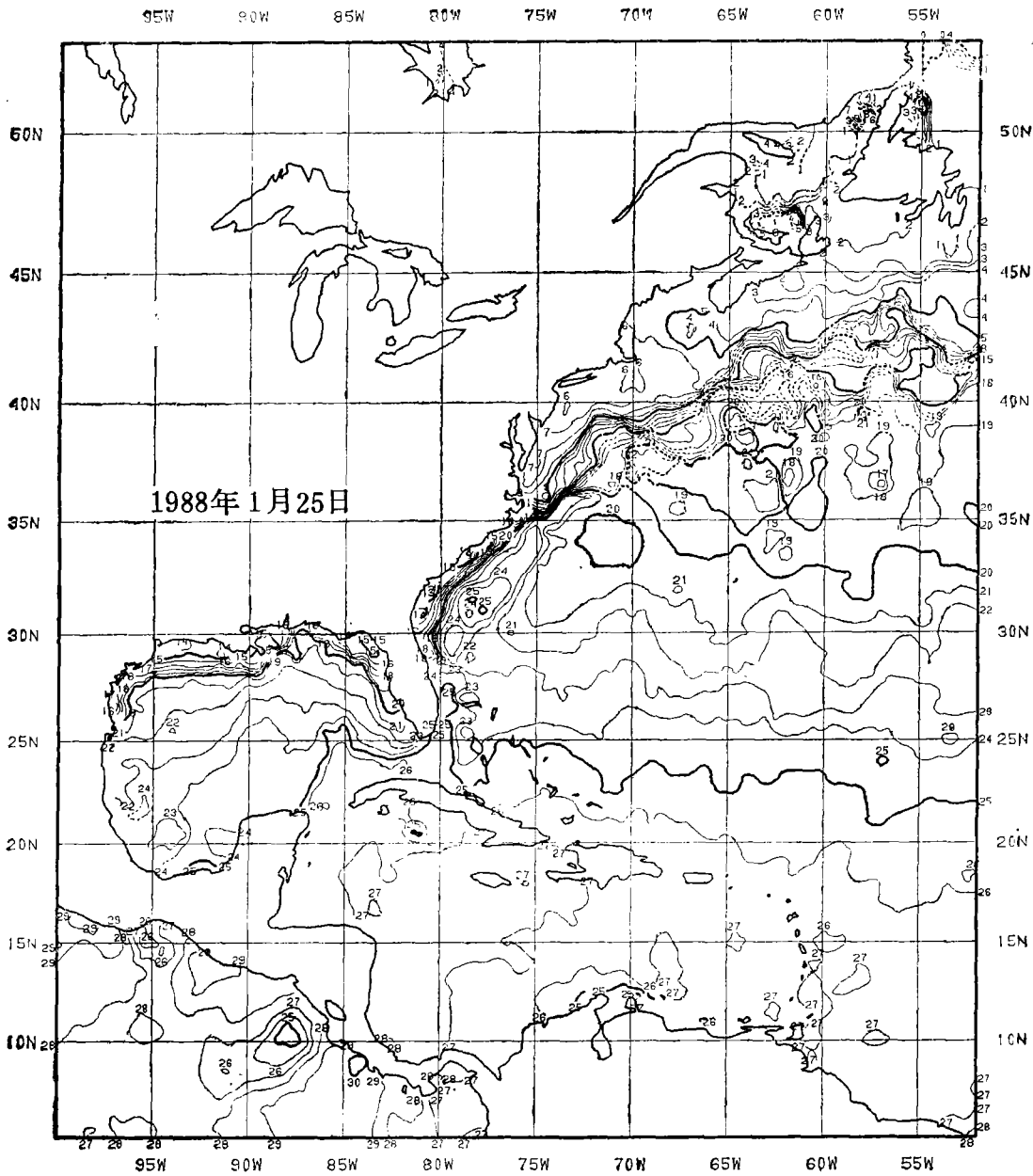


图3 多通道海面温度(取自 NOAA)

Fig. 3 Multichannel sea surface temperature. Source : NOAA

年发表的有关文章所指出的那样,亮度温度 T_B 一般可以表示为:

$$T_B = eT_w$$

式中 e 是发射率, T_w 是海面绝对温度。

Nordberg 等人在 1971 年发表的文章中,介绍了他们在 1.55 厘米做的微波辐射实验。亮度温度在天顶方向几乎随每秒 7 到 25 米的风速以大约 $1.2\text{C}^\circ(\text{m} \cdot \text{sec}^{-1})^{-1}$ 的速率

增加。当偏离天顶为 70° 时,增加的速率将达到 $1.8C^\circ(m \cdot sec^{-1})^{-1}$ 。亮度温度的变化(增量)直接取决于海面翻起白色浪花的情况。当风速小于 7 米/秒时,基本上不会翻起白色浪花,在天顶方向的亮度温度为 120 K 左右;当风速达到 25 米/秒时,海面的白色浪花覆盖率将达到 30%,天顶方向的平均亮度温度可达到 142 K 左右。当翻起的白色泡沫覆盖范围足够大,使得微波辐射计的整个接收范围内都被白色海浪所覆盖时,则所能达到的最大亮度温度为 220 K。这是因为当海水全部被白色浪花覆盖时,它的发射率将会从 0.4 变成近似为 1 的值。因为海面翻起的白色浪花与风速有关,所以可以采用微波技术估测海面风速。

辐射计的亮度温度 T_B 取决于它接收的各部分辐射能量的总和,包括来自海面的辐射、云及大气层中的水蒸汽辐射、和通过海面反射的大气辐射。

$$T_B = \varepsilon T_{w\tau H} + (1 - \varepsilon) T_{s\tau H} + \int_0^H T_A(h) (\partial\tau/\partial h) dh \quad (9)$$

式中 T_w 是海面温度, T_s 是(天空)亮度温度, T_A 是大气温度, τ 是大气透射率, ε 是海面发射率, h 是高出海平面的高度, H 是辐射计的飞行高度。式中第一、二、三项分别代表海面辐射、由海面反射的大气辐射及大气辐射。

采用卫星微波辐射计的最新应用成果是利用有源和无源的方法,对极区海冰进行动态监测。水的发射率为 80,而冰的发射率只有 3,与水形成鲜明的对照。另外在任何季节、任何天气条件下都能够获取数据,使得监测海冰比较容易。其次今后将会采用合成孔径雷达这样的有源微波遥感系统进行海冰监测(图 4, 图版 II)。

对于目前监测系统及潮汐和海浪这些方面,海洋表面起伏或基准面的静态成分很重要。已经有几颗卫星可进行海洋基准面制图工作,例如 GEOS-3 和海洋卫星用高度计进行了这方面的测量。一般的海面图能够反映底层地形相当大的一部分。图 5 (图版 II) 为大西洋海域的一张图片,可以看出这种结构。如果已经得到一系列长期监测的高度计断面数据,则可以将海洋平均起伏与中尺度海洋涡流的影响分开。平均起伏可以表示为:

$$\bar{H}(x) = \frac{1}{N} \sum_i^N H_i(x)$$

并且涡流成分为:

$$H_c(x) = \bar{H}(x) - H_g$$

式中 H_g 表示海面基准值,如果海平面基准是已知的,则 $H_c(x)$ 也可求出。

结 论

目前已获得的资料表明,采用空间技术对海洋的各种参数及过程进行监测,对于我们认识海洋具有重要的意义。尽管许多遥感器仍处于实验阶段,但还是有一些已经进入了实用阶段,例如:地球海面测温仪每天都能进行海温测量。其它一些参数,如大部分光合色素,也将进入区域或全球范围内实际测图阶段。1985 年 NASA 已经制定了有关计划,开展海洋生态及物理过程的研究。

关于开展大规模的国际合作项目,通过建立实用卫星海洋监测系统实现海况预报,可

以为各地区及全球的海洋资源管理提供信息服务。这样的研究项目包括如下几项:

(1) 全球气候及二氧化碳问题。了解全球碳循环及海洋在气候中的作用, 确定海洋生产力。

(2) 开展渔业应用研究。预测捕鱼地点及鱼群所处的水深, 寻找适于鱼苗生长的其它高产区。

(3) 开发近海石油及海洋矿产。监测海流及涡旋, 为海洋石油钻井及探矿提供服务。

(4) 开发具有特殊经济价值的海域。估测海洋光学特性和浮游生物富集量, 评价海洋资源及它们的产地。

(5) 环境质量监测。对沿海地区的污染及海洋悬浮物进行监测, 并研究它们对海洋食物链的影响。

在目前采用的用于沿海地区监测的遥感卫星还有陆地卫星和 SPOT 卫星, 它们都成功地用于资源开发和规划。估计 1989 年内, 将会有更多的用于海洋环境及资源监测的遥感卫星进入实用阶段。为了能更好地完成这些项目, 必须培训出一批有关专家, 使他们能够掌握使用在今后十年内发射的各种有关海洋遥感卫星发回的数据及图片资料的方法。

参 考 文 献

- [1] Charnell, R. L. and G. A. Maul, An oceanographic observation of New York Bight from ERTS-1. NOAA TR ERL, 262, 9, 8pp. 1973.
- [2] Epstein, E. S., W. M. Calicott, D. J. Cotter and H. W. Yates, NOAA Satellite Programs. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems. Vol. AES 20, 4, 325—344. 1984.
- [3] GOFS, Ocean color observations: a new environmental perspective, 6 pp. 1986.
- [4] Gordon, H. R., P. K. Clark, J. L. Mueller and W. A. Hovis, Phytoplankton pigments from Nimbus 7 Coastal Zone Color Scanner: comparisons with surface measurements. Science, 210, 63—66. 1980.
- [5] Kidwell, K. B., NOAA polar orbiter data users guide. U. S. Department of Commerce, 1984.
- [6] NASA, Towards a study of synoptic-scale variability and dynamics of the California Current System, 38 pp. 1985.
- [7] Needham, B. H., Availability of remotely sensed data and information from the U. S. National Oceanic and Atmospheric Administrations' Satellite Data Services Division. In: Satellite Remote Sensing for Resources Development, ed. K. -H. Szekiolda, 137—162. 1986.
- [8] Simmons, R. C., ed., NASA Oceanic Processes Program. Annual Report-Fiscal Year 1984, 152 pp. 1985.
- [9] Strong, A. E. and E. P. Mc Clain, Improved ocean surface temperatures from space-comparisons with drifting buoys. Bull. Am. Meteorol. Soc., 65, 138—142. 1984.
- [10] Szekiolda, K. -H., Spacecraft oceanography, In: Oceanography and Marine Biology: an Annual Review, ed. by H. Barnes, Aberdeen, 14, 99—166. 1976.

MARINE MONITORING WITH SATELLITES

Karl-Heinz Szekiolda

Abstract

The ocean and its coastal areas are vital regions for economic development and consequently many satellite missions are under preparation for sensing in the different parts of the EMS. Ocean color and sea surface temperature are parameters for which advanced techniques are ready for operational monitoring. Sensors working at microwave frequencies may soon be operational.

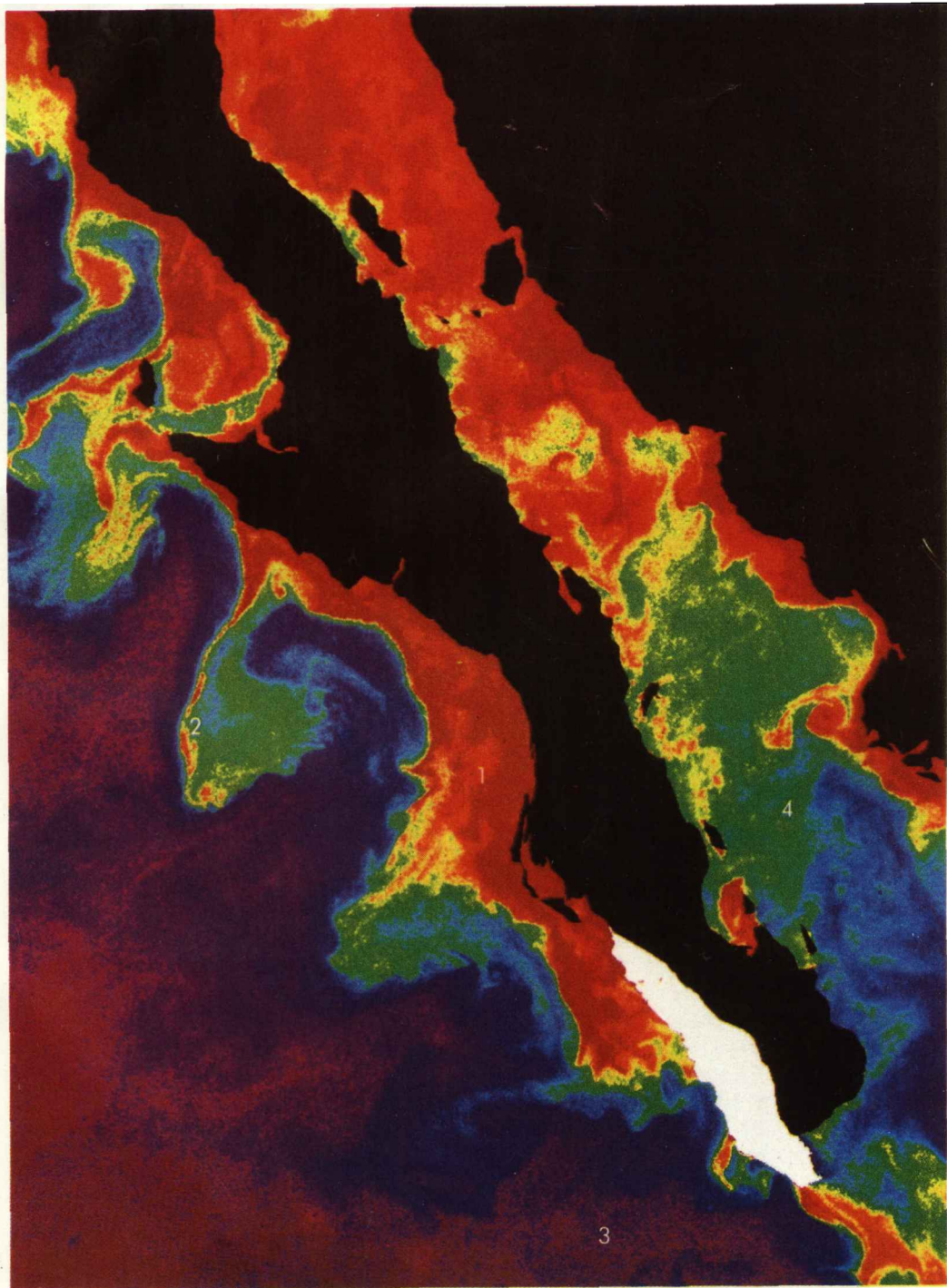


图 2 用海洋带水色扫描仪测量的海洋水色:

(1) 风吹动的上升流 (2) 哥斯达黎加洋流 (3) 来自赤道区域的暖水

(4) 低水平的浮游生物 (取自NASA)

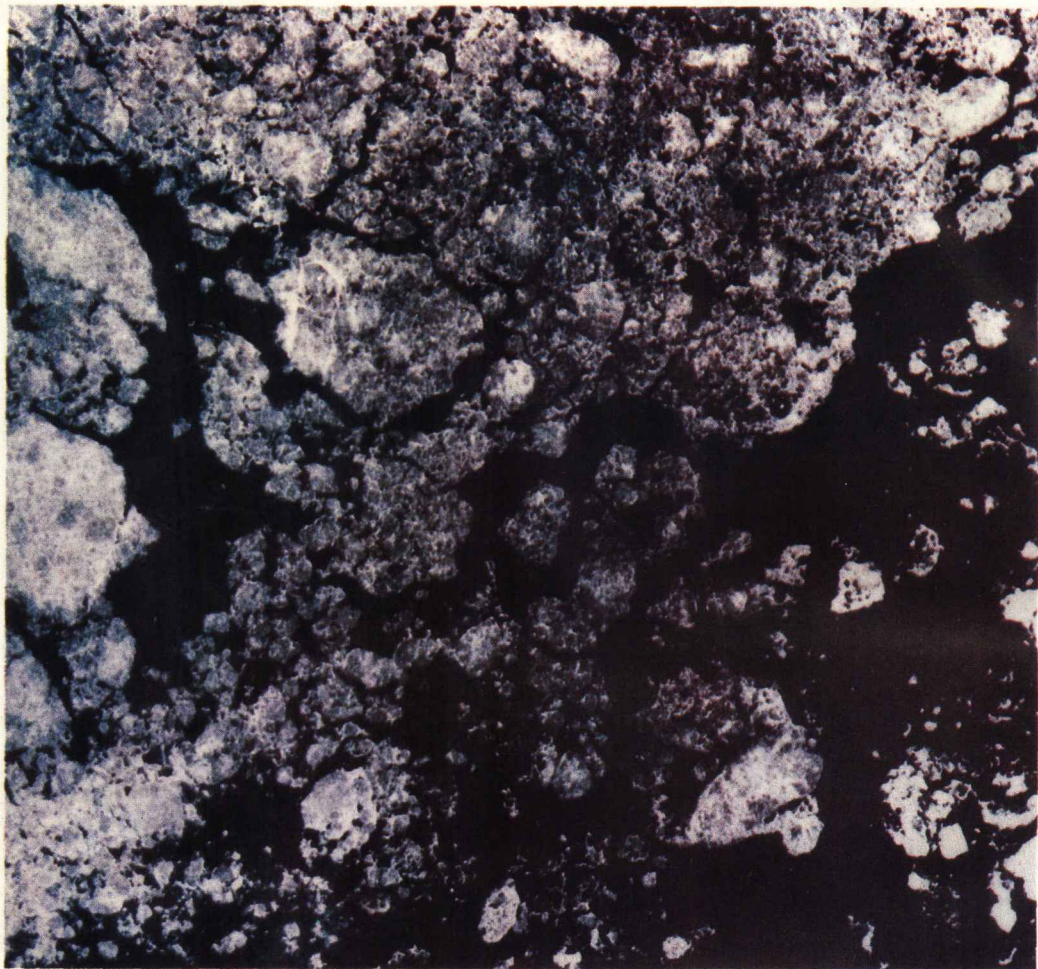


图4 合成孔径雷达在1978年监测的海冰 (取自NASA)

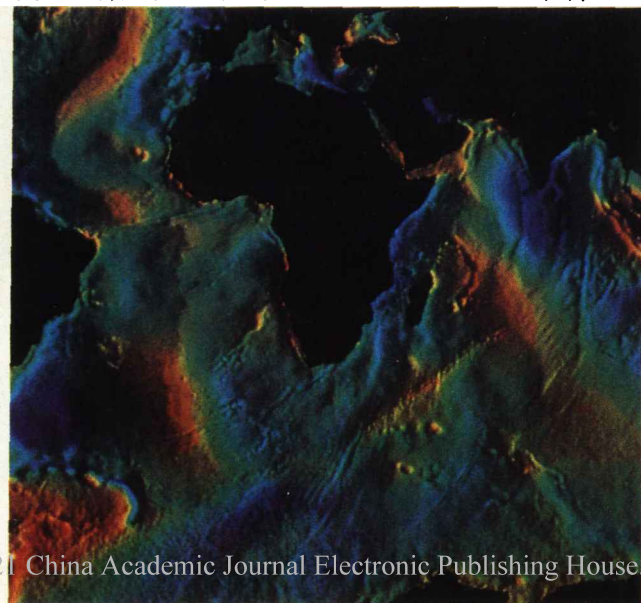


图5 海面测高 (取自NASA)