

海洋遥感文集

海洋出版社

P-1-9
ZQA

海洋遥感文集

郑全安 薛德镛 编著
刘宝银 费尊乐

41736/19

海洋出版社

1980年 北京

000255

内 容 提 要

本书为海洋遥感专业性文集，书中汇集的文章内容包括：发展概况、基本原理和方法、应用研究成果报告等。可供从事有关海洋科研、教学、调查、资源开发和环境保护工作的科技人员、业务管理人员以及与海洋学和环境遥感有关的科技人员参考。

海 洋 遥 感 文 集

海洋出版社出版

北京东长安街31号

北京印刷一厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经营

1980年5月第一版 开本：787×1092 1/16

1980年5月第一次印刷 字数：150,000

印数：1900 印张：7

统一书号：13193·0014 定价：1.00元

序

随着国际上遥感技术的蓬勃发展，我国海洋遥感工作也在迅速发展。《海洋遥感文集》作为反映这些工作的先声，应时而出。

海洋遥感可通过航天、航空和海面自动观测三个系统进行。国际上航天系统已有环境卫星系列，本文集中有些文章就是应用该系列中的气象卫星和陆地卫星资料进行分析研究的。作为不足之处，还缺乏反映航空遥感和海上自动观测方面的文章。

这本文集共收入海洋遥感方面的文章十篇，根据文章的内容，按综述、基本原理、应用研究的次序编排。侧重于介绍原理和方法、反映国内外海洋遥感研究的新成果，注意理论与实际结合。主要内容包括：海洋遥感技术简介，对可见光遥感透视海水深度的讨论，海洋微波遥感原理，对海洋微波辐射测量的校正分析，遥感技术在海洋水文学、海洋石油污染监测、海水叶绿素浓度测定、海洋渔场位置分析、卫星图象分析解译工作经验等。书末附有与海洋学有关的卫星概况表。

我国海域辽阔，只有积极采用遥感技术才能更全面地掌握我国海洋资料，推动海洋资源开发、海洋环境保护、海洋科学研究工作的发展。

李 涛

1979年8月

目 录

序

- 海洋遥感简介 郑全安 薛德镛 张国才 (1)
- 对可见光遥感透视海水深度的初步探讨..... 郑全安 (9)
- 海洋微波遥感导论 郑全安 (19)
- 关于海面微波辐射测量的校正 薛德镛 (44)
- 遥感技术在海洋石油污染监测中的应用..... 郑全安 (50)
- 气象卫星照片在海洋研究中的初步应用..... 郑全安 (59)
- 我国近海卫星图象与渔场分布相关性的初步研究 刘宝银 (71)
- 遥感技术应用于海水叶绿素浓度测定的初步探讨 费尊乐 (78)
- 遥感技术在海洋中尺度涡漩研究中的应用及卫星照片实例解译
..... 郑全安 (86)
- 论卫星海洋图象解译的可信赖性及其若干问题..... 刘宝银 (102)

附录

- 国外已发射的和计划发射的与海洋有关的卫星概况表 (107)

海洋遥感简介

郑全安、薛德镛、张国才

“遥感”一词来源于英文 Remote Sensing, 原意为“遥远的感知”。人眼在可见光的帮助下可以发现和识别远处的物体, 蛇借助于红外线可以发现洞穴中的青蛙或田鼠, 这都是生物机体本能的遥感。而遥感技术指的是利用传感器为工具, 以电磁波为传递信息的媒介, 对数百公里以至数千公里远的目标进行大范围、同步观测和研究, 实际上是人的感觉器官的扩展和延伸。遥感技术作为一门独立的学科大约只有十余年历史, 而海洋遥感作为遥感技术的一个分支, 则更年轻。

遥感系统一般包括工作平台、传感器、信息处理和应用四部分, 下面逐一介绍。

一、遥感工作平台

遥感工作平台就是装载遥感传感器的运载工具。现代遥感系统的工作平台分为地面工作平台、航空工作平台和航天工作平台三类, 根据需要, 它们既可单独使用也可联合使用。

(一) 地面工作平台

地面工作平台指的是地面上装载传感器的固定或可移动的装置, 其中包括遥观测塔、地面遥感站、自动升降曲臂车和车载雷达等。在地面工作平台上进行的遥感称为地面遥感。例如: 利用车载测云测雨雷达观测海空的云型和雨区锋面; 在岸边和海岛上建设遥感站, 观测数百海里外的波浪和海风, 帮助各种舰船选择最佳航线; 在特定位置建立遥观测塔, 对海水污染状况进行监测; 这些都是在地面工作平台上进行的遥感。地面工作平台的特点是建造容易、寿命长、对传感器的重量、体积等要求不高、使用控制方便、测量精度高、可进行连续观测。弱点是“视野”狭窄, 只能进行定点或局部海区的观测。美、日等国对地面遥感系统的研究和应用十分重视, 他们把遥感与遥测结合起来, 对海洋观测浮标的研究非常重视, 美国国家海洋大气局设有资料浮标办公室(NDBD)专门负责海洋观测浮标的研究工作。经过多年的研究, 美国的海洋观测浮标系统已进入实用阶段。美国研制的海洋观测浮标多达十余种, 最大的重量达 100 吨。高性能浮标的测量水温精度达 0.06°C , 盐度为 0.03% 。有的浮标上装有信号发射器, 可自动地将信息发回陆地接收站, 也可与人造卫星配合, 组成立体观测体系, 卫星收集浮标信息并转发到地面站。用飞机追踪装有浮锚的漂流浮标, 可以精确地算出海流的流速和流向。美国用这种方法对加利福尼亚沿岸流进行了观测, 日本也用这种方法对相模滩海流和黑潮的蛇行进行了研究。

日本还积极开展了在陆地上利用微波遥感数百公里以外的海面风和波浪的研究工作。

(二) 航空工作平台

航空工作平台包括飞机、无人驾驶飞机、气球和探空火箭等。将传感器安装在航空平台上进行的遥感称为航空遥感。

航空遥感的特点是机动灵活、观测范围较宽、测量精度较高，特别适合于海岸带和局部海区的遥感观测和环境监测。

美、法、加拿大等国航空遥感水平较高，美国海军海岸警卫队装备有大型遥感飞机，飞机上装有可见光、红外和微波三个波谱段的成套遥感仪器，可进行全天候、全天时遥感观测。这些遥感飞机除军事目的外也进行海洋水文测量和污染监测。法国也生产专门用于航空遥感的飞机，加拿大也有类似产品。加拿大遥感中心是一个 100 人的单位，到 1976 年已拥有四架遥感飞机，包括“DG-3”飞机二架，«苍鹰»喷气机一架，«康沃尔 580»飞机一架。这些飞机上都装有配套的遥感传感器：“RG-10”广角测绘照相机、带有各种光谱滤光片的焦距为 6~70 厘米的照相机、红外扫描仪、十二个信道的达艾达勒斯型多光谱照相机、红外辐射计、12 千兆赫微波辐射计和激光荧光计。除传感器外，飞机上还装有资料收集系统。这些遥感飞机可对海冰厚度、海洋水色和叶绿素含量、海面温度、石油污染等进行遥感观测。

值得一提的是，国外利用航空遥感监测海洋环境的工作大都由军队负责，例如美国海军的海岸警卫队就负责这项工作。加拿大武装力量编有“航空遥感部队(GFASU)”，专门担当航空遥感的科研和业务工作。

(三) 航天工作平台

航天工作平台包括人造卫星、宇宙飞船、航天飞机等。在航天工作平台上进行的遥感称为航天遥感，如无特别说明，通常所说的“遥感”即指航天遥感而言。

俗话说“站得高，看得远”，航天遥感的突出特点就是飞得高、观测范围大，因而可对传统方法无法观测或无法发现的现象进行观测，从而大大地开阔了人们的眼界，加深了对某些自然现象的认识。航天遥感的缺点是技术复杂、对传感器的要求高、测量精度比不上地面和航空遥感。

到目前为止，世界各国已发射各种人造卫星和宇宙飞船数千颗，其中与海洋遥感有关的约数十颗，例如美国的“艾萨(BSSA)”系列、“诺阿(NOAA)”系列、“雨云(Nimbus)”系列、“天空实验室(Skylab)”系列(载人宇宙飞船)、“陆地卫星(Landsat)”系列、“海洋卫星(Seasat-1)”、苏联的“流星”系列、日本的“静止卫星 1”等。“诺阿 5”卫星每天 8 时 30 分前后(北京时间)飞经我国海区上空。“静止卫星 1”拍摄的照片中也包括我国大部分海区，这二颗卫星的照片对我们开展海洋遥感的价值较大，接收也比较方便。

随着航天技术的发展，许多国家对海洋遥感越来越重视，美国在这一领域处于领先地位。美国 1978 年发射一组卫星专门用于海洋遥感研究，这一组卫星包括“海洋卫星 A”、“雨云 G”和“泰罗斯 N”，以前二颗卫星为主，第三颗用以补充前二颗的研究活动。这三颗卫星的实验研究活动，将把海洋遥感推向一个新阶段。

“海洋卫星 A”轨道高度为 800 公里，轨道平面倾角为 108° ，每天观测面积为 12×10^7 平方公里，152 天将地球观测一遍。“雨云 G”的轨道高度为 955 公里，倾角 99.28° ，每 5.72 天观测地球一遍。“海洋卫星 A”载有五部传感器，包括四部微波传感器，三部为主动式的，其中合成孔径雷达是首次在人造卫星上使用。这么多技术较复杂的传感器

集中在一颗卫星上，这在以前是少见的。这一组卫星将对海洋学的许多领域进行遥感研究，如：海洋水文学、海洋气象学、海洋生物学、海洋工程学、海洋环境和测地学等。

“海洋卫星A”于1978年6月26日发射成功，原计划飞行寿命为一年，但由于卫星电源故障在发射后的第105天即10月10日失去控制。尽管如此，“海洋卫星A”仍不失其在海洋遥感技术发展史上的划时代地位。在正常运行的时间内，卫星每天向地面站播发有关海流、潮汐、波浪、海面温度、云型和冰原等海洋学和气象学资料，其中前三种资料是其它卫星很难得到的，特别是合成孔径雷达的全天候图象更有价值。这些宝贵资料必将推动海洋学的发展，“海洋卫星A”的经验必将为今后的海洋卫星计划所借鉴。

“泰罗斯N”是美国第三代极地轨道环境业务卫星，它的突出特点是将原来模拟传输的信息变为数字传输，并以数字化图象的形式记录。这将使得所观测的量由定性阶段提高到定量阶段，并将大大提高观测精度。

上述三种遥感工作平台各有特点，可各取所长，配合使用，组成立体遥感观测网。遥感技术与遥测技术相结合，由人造卫星、遥感飞机、地面遥感遥测站、浮标阵和深潜器组成的观测系统是获取海洋资料的理想体系。

二、遥感传感器

遥感传感器是记录目标辐射、反射、散射的电磁波能量，以便识别目标特征的专用仪器，正是依靠这些仪器实现了人类感官的扩展和延伸，因而称为“传感器”。

目前用于海洋遥感的传感器按其工作的电磁波谱段来划分，可分为可见光传感器、红外传感器和微波传感器三类。

(一) 可见光传感器

人眼能够看得见的光称为可见光。可见光是电磁波的一部分，所占的波长范围是0.38~0.78微米。借助于可见光实现遥感的仪器称为可见光传感器。如海洋遥感常用的各种类型的照像机、多光谱照像机(MSG)、多光谱扫描仪(MSS)、沿岸带水色扫描仪(GZCS)等属于或部分属于可见光传感器。

可见光传感器的优点是：①空间分辨力高，如“陆地卫星”装载的多光谱扫描仪的空间分辨力是79米，“诺阿5”卫星装载的甚高分辨力辐射计的空间分辨力为900米；②所获取的信息记录在照片上，比较直观、分析解译也较容易。缺点是不具有全天时（只能白天工作）、全天候（不能透过云雾）的工作能力。

可见光传感器特别适用于拍摄云图、观测海冰、海岸形态、沿岸流向、波浪折射、浅海测深、海岛和浅滩定位、测定海洋水色透明度及叶绿素含量等。

(二) 红外传感器

红外线也是电磁波的一部分，波长范围是0.78微米至1毫米。工作在这一波段的传感器称红外传感器，其中最重要的是红外扫描仪。多光谱扫描仪(MSS)和沿岸带水色扫描仪(GZCS)也包括一、二个红外信道。

红外传感器的优点是：①空间分辨力高，大体上接近于可见光传感器的水平；②照

片也较直观、解译不很难；③ 热红外传感器具有全天时工作能力。缺点是不能透过云盖、烟雾等。

目前的红外传感器所使用的红外波长范围大体有二种，一种是反射红外(0.78~3.5微米)其特点与可见光差不多。另一种是热红外(8~14微米)，这是由物体辐射出来的红外线，其强度取决于物体温度。因此，热红外传感器所接收和记录的红外能量反映了目标的表面温度分布。红外传感器在海洋遥感中占有重要地位，因为利用海面热红外照片可以确定海流、水团的边界，确定上升流的位置、监测海洋石油污染和热污染，还可以用来判断云顶高度。

(三) 微波传感器

波长在1毫米至30厘米之间的电磁波称为微波，工作在这一波长范围内的传感器称为微波传感器。各种微波辐射计、微波散射计、雷达高度计、微波侧视雷达和合成孔径雷达都属于微波传感器。

微波传感器的优点是：① 具有全天时(昼夜都可工作)、全天候(能穿过云雾、降雨等)的工作能力；② 较易于实现主动式遥感。缺点是所获取的资料分析解译较复杂，空间分辨力较低(合成孔径雷达除外)，一般为数十至数百公里。

微波传感器特别适用于海洋，因为海水是一种导体，微波对海水的导电性能很敏感，因此可以用微波测量海水盐度。微波能穿透海冰，所以可以用微波测量海冰厚度。微波对海面粗糙度也十分敏感，因此可以用微波测量海面风速、风向以及波浪的有关参数。微波传感器还可用来测定海面油膜厚度。雷达高度计可用于确定海流位置和流速、测量海洋水准面、增水、波高等方面。以上这些都是可见光和红外传感器很难胜任的。因此国外对微波遥感传感器的研制和发展极为重视，美国“海洋卫星”所载传感器的五分之四为微波传感器，可以看出微波遥感在海洋遥感中所处的地位。

除上述三类传感器之外，紫外传感器也应用在监测石油污染方面。

把工业电视系统(GCTV)和磁带录相机作为传感器安装在飞机上，监测海洋石油污染的研究也取得了成功。这方面，加拿大遥感中心(CGRS)做的工作较多。

由于声波可以穿过海水直达海底，因此，利用声波来实现对海洋内部和海底的遥感的设想正在引起海洋科技界的兴趣。当然，这是广义的遥感。

三、遥感信息处理

遥感传感器获取的信息一般记录在照片上或者记录在计算机用磁带上。这些信息往往很不明显，需要经过处理才能供用户使用，这就是遥感信息的处理。这样做目的是：

- ① 把用户看不懂或很难看懂的信息转换成用户很容易看懂的形式，如把照片或计算机用磁带转换成图；
- ② 把照片中不明显的信息显示出来；
- ③ 把照片的灰阶(黑白程度)数字化，以便进行定量测量和计算。

目前遥感信息处理的方法一般来说有二种，一是电子光学影像信息增强技术，另一种是计算机信息处理技术。

(一) 电子光学影像信息增强技术

利用电子光学技术处理遥感照片,使照片中的信息更加突出明显,这就是电子光学影像信息增强技术。

1. 假彩色合成技术

某些传感器所获取的信息是多波段照片,即对目标同时用不同光谱进行拍照。多光谱扫描仪(MSS)和沿岸带水色扫描仪(CZCS)都属于这一类型。某些海洋信息在一个光谱段的照片上可能是不明显的,使用者同时看几个波段的照片又很困难,需要把不同波段的二张或三张照片分别用不同的颜色来代表,再迭加在一起,用彩色电视或彩色照片显示出来,以便使信息更加突出,这就是假彩色合成技术。因为代表各波段的颜色是任意选择的,彩色合成后的物体颜色是人为的而不是物体本来的颜色,因此称为“假”彩色。例如在假彩色合成照片中,海岸可能是绿色的,而海水可能是红色的,云可能是蓝色的等等。假彩色合成的效果要由试验确定。

2. 密度分割技术

遥感信息在黑白照片中以不同的灰阶(密度)反映出来,人眼识别灰阶的能力很有限,因此单依靠人眼进行定量分析是困难的或者是很不精确的。密度分割技术可以解决这个问题。

密度分割仪把黑白照片中的灰度转换成数字,也可以用不同的颜色表示不同的灰阶,然后显示在电视屏幕上或彩色胶卷上,使信息更加突出,从而提高了分析解译的准确性。这也叫作假彩色密度分割技术。密度分割仪还可以把黑白照片转换成数字化的计算机用磁带交给计算机进行运算,使分析解译的水平更提高了一步。

(二) 计算机处理技术

电子计算机在遥感信息处理中的应用,使遥感技术进入了一个新阶段。计算机可以按人们的要求把计算机用磁带复制成图,也可以把一张照片数字化或对几张不同波段的照片进行运算。计算机处理的特点,第一是速度快。遥感系统的信息量和信息产生率都很大,人工处理太慢,特别是一些灾害性海况如台风的生成和移动,风暴潮和海啸的发现和预报,都要求遥感系统快速反映,这就必须依靠计算机来完成。同时,只有计算机参加,才能使遥感系统“快速”这一优点发挥出来。第二是精确度高。最熟练的分析解译人员用眼睛至多能区别 10 多个灰阶,密度分割仪可以识别 64 个灰阶,而计算机可以识别 256 个灰阶,这就使解译照片的水平大大提高。计算机的使用,使遥感照片解译从定性描述阶段进入了定量计算阶段。第三是计算机帮助人们加深对某些自然现象的认识。计算机的存储量大、运算速度快,可对数字化的卫星照片进行各种运算,从而使某些信息突现出来。例如美国利用计算机对纽约湾的“陆地卫星”的多波段照片进行了运算处理,运算结果第一次显示出了正向纽约湾前进的,波长约 500 米的内波。

航天技术与计算机技术相结合,构成现代化的遥感系统,这是遥感技术发展的必由之路。有人说没有计算机就谈不上“遥感”是有道理的。

四、遥感技术在海洋学中的应用

近年来,遥感技术在海洋学的几乎所有领域都得到了应用,不断取得新的成果,这

里仅介绍比较突出的成果。

(一) 海洋气象学

海洋遥感最早的应用领域是海洋气象学。利用气象卫星观测台风的产生和运动规律，确定台风中心位置，大大提高了预报的准确性。

图1是1978年6号台风的卫星热红外照片，可以清楚地看到台风中心位置在长江口以东海面上，台风外围已影响到我国苏、浙、闽沿岸。

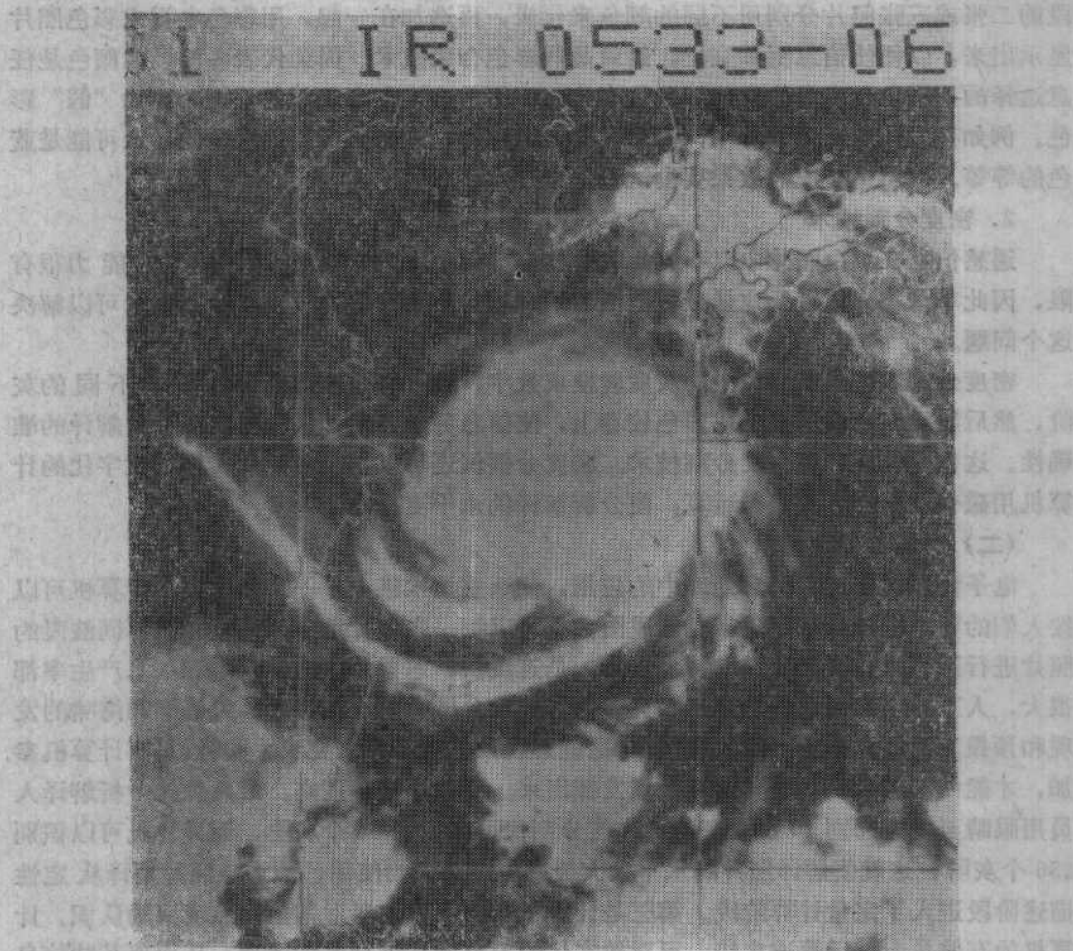


图1 1978年6号台风全貌，日本“GMS-1”同步气象卫星7月29日6时拍摄

在“海-气相互作用”这一课题的研究中，遥感技术是最重要的研究手段之一。

(二) 海洋水文学

遥感技术在海洋水文学研究中的应用最广泛，所做的工作也最多。研究结果表明，海面温度、盐度、水团、海流、波浪和海冰等都可以用遥感技术来观测。

目前利用航天遥感测温，精确度约为 1°C ，航空遥感测温精确度可达 0.5°C 。利用航天遥感测波高，精确度约为50厘米，而航空遥感测波高精度可达数厘米。

大洋中尺度涡流的发现迫使人们改变了对大洋环流的传统看法。这种范围达数百公

里,持续时间达几个月至一、二年的涡漩,被称为海洋水体中的“台风”,有人认为它们包含了海洋百分之九十的动能。这种中尺度涡漩的同步观测只有通过航天遥感才成为可能,在“NOAA”系列卫星的“VHRR”红外照片中,中尺度涡漩的影像十分清楚。

利用卫星的可见光照片观测海冰也是很方便的,图2为黄海渤海可见光照片,照片中渤海海冰边界和表面状况十分清晰。

(三) 海洋生物学

利用多光谱遥感技术,可以观测海水的水色和透明度,估计海水中叶绿素的含量,这有助于海洋初级生产力的研究。美国即将发射的“雨云-G”卫星上携带的“沿岸带水色扫描仪(CZCS)”主要任务就是进行海洋生物学研究。

(四) 海洋渔业

遥感技术可用于侦察鱼群,帮助渔船增加渔获量。美国利用载人飞船“天空实验室”与飞机和船舶相配合,在墨西哥湾开展了鱼群与海水参数之间关系的研究,在白令海开展了机载传感器遥感鱼群生物发光,从而确定鱼群位置的研究,取得了很多成果。

(五) 海洋环境监测

遥感技术是监测海洋环境的有力手段。

利用卫星可以发现海洋较大范围的污染,如石油污染、热污染、污水和固体垃圾污染及赤潮等。利用航空遥感监测近海海洋环境,在许多国家,包括一些第三世界国家,已进入业务应用阶段。航空遥感机动灵活,分辨力高,特别适合于监测突然的污染事件,如船漏、海难、井喷、非法排污等,并可为司法机构和治理部门提供可靠的情报。

(六) 海洋航运

利用卫星可观测大面积海区的海面风场、波浪场、海冰和冰山,这些资料有助于船舶的安全航行和寻找最佳航线。卫星还被用于船舶导航系统,这种导航系统的定位精度超过了过去的所有定位方法。

(七) 海洋工程

可见光遥感可用于观测海岸、海峡和河口的形态、波浪折射、沿岸泥沙搬运等,还可用于浅滩定位和浅海海底制图,这些都是港湾建设和保护、海岸和浅海施工不可缺少的资料。

海洋遥感技术的发展趋势是:① 扩大传感器的波长范围,在短波长一边向紫外发展,长波长一边向远红外特别是微波方向发展;② 逐渐采用合成孔径雷达和激光装置等主动式传感器;③ 提高测量精确度,向定量测量和实用阶段发展;④ 为观测海洋深部情况,正在采用声学遥感的方法。

我国海域辽阔,海洋和海底资源十分丰富,我国海岸线漫长曲折、岛屿众多,开展



图2 黄海、渤海1978年2月16日可见光照片,美国“诺阿5”卫星拍摄

海洋遥感研究对开发资源、发展航运、保护海洋环境、建设强大海军、促进四个现代化的实现具有很大意义。我国若干海洋科研单位已经建立了海洋遥感专业队伍，工作正逐步展开，相信在党中央领导下，我国海洋遥感研究一定会飞速发展。

对可见光遥感透视海水 深度的初步探讨

郑 全 安

提要 本文依据海洋光学的研究成果,定量地分析了可见光各谱段透视海水的可能深度。对各向光学性能均匀的海水模型,导出了遥感透视深度与光学深度的相互关系,并依据这一关系式,推算了若干类型海水在不同解译水平情况下的遥感透视深度,对研究结果进行了实际检验。

可见光不同谱段在海水中的透视深度的研究,对海洋遥感研究的意义十分重大。首先,这关系到传感器最佳谱段的选择。其次,这是海洋的可见光遥感照片(如气象卫星的“VHRR”可见光照片和陆地卫星“MSS4”、“MSS5”及“MSS6”照片)的分析解译基础。在这些照片中,海洋信息以不同的灰度反映出来。这些信息来源于海面,还是来源于海水中或海底?还是它们的综合?要把这些不同来源的信息区别开,就必须了解可见光各谱段对各种类型海水的透视深度。

一、可见光在海水中的传输

光束照射到海面上,一部分光能量透入海水,进入海水的这部分光能量的辐射强度随着海水深度的增加呈指数衰减,即

$$I(z\lambda) = I_0(\lambda)e^{-K(\lambda)z}, \quad (1)$$

式中 $I(z\lambda)$ 为深度 z 处, 波长为 λ 的光的辐射强度, $I_0(\lambda)$ 为海面透入海水的该波长的辐射强度, $K(\lambda)$ 为衰减系数, 对给定的海水, K 与波长 λ 有关。当波长和海水都给定时, K 为常数。且 K 由吸收系数 α 和散射系数 β 二部分组成, 即

$$K = \alpha + \beta. \quad (2)$$

从(1)式可解出:

$$K(\lambda)z = \ln \frac{I_0}{I}. \quad (3)$$

海洋光学中, 定义 $\frac{I_0}{I} = e$ 时的海水深度 D_L 为海水的“光学深度”, 也称海水的“衰减长度”, 从(3)式可知

$$D_L = \frac{1}{K(\lambda)}. \quad (4)$$

* 在此对李武、刘莲珍、傅克村、丁永耀同志的热忱帮助表示感谢!

从定义可知,海水的 光学深度 即为辐射强度衰减为海面入射强度 $\frac{1}{e}$ ($\sim 37\%$)的海水深度其大小恰等于衰减系数的倒数。可以用 光学深度 这一概念,度量海水对某一谱段可见光的传输能力。

60年代初,美国卡佐利克(Catholic)大学的苏利万(S. A. Sullivan,1963),以10埃和20埃的波长间距测量了蒸馏水、重水和人造海水的吸收系数,他采用的样品“ 光学纯度 ”很高,因此悬浮粒子造成的光的散射衰减可以忽略不计,在忽略瑞利散射的情况下可以近似认为 $K \approx \alpha$ 。根据苏利万的测量结果推算出的海水 光学深度 列于表1(每隔100埃取一个数据)。

表 1 人造海水的吸收系数与光学深度

波 长 λ (m μ)	吸 收 系 数 α ($\times 10^{-4}$ cm $^{-1}$)	光 学 深 度 D_L (m)	测 量 偏 差 %
580	13.3	7.52	2.2
590	16.7	5.99	
600	26.5	3.77	0.7
610	29.9	3.34	
620	31.7	3.16	
630	31.2	3.20	
640	32.6	3.07	
650	35.7	2.80	0.7
660	40.5	2.47	
670	42.2	2.37	
680	45.0	2.22	
690	50.1	2.00	
700	64.7	1.55	
710	90.8	1.10	0.6
720	137.2	0.729	
730	230.8	0.433	
740	272.9	0.352	
750	269.8	0.376	
760	272.7	0.367	0.4
770	254.0	0.394	1.2
780	237.6	0.421	
790	209.7	0.477	

可以把人造海水视为真实海水的理想化光学模型,人造海水的光学深度,可以视为真实海水 光学深度 的最大极限。从表1可以看到,在580~790微米的波长范围内,最大 光学深度 为7.52米,最小 光学深度 为0.352米。

美国伍兹霍尔海洋研究所麦克阿利斯特(E. D. McAlister,1964)等人,在更宽的波长范围内对海水的吸收系数进行了测量,他们的研究结果如图1所示。

将表1中的数据与图1的曲线互相对照,会发现苏利万和麦克阿利斯特等人的研究结果大体上是一致的。根据他们的研究结果,可以推算出目前与海洋遥感有关的主要 光学传感器 各谱段所对应的人造海水的吸收系数与 光学深度 如表2所示。

注意,表2中列出的数据是对高 光学纯度 的人造海水而言的。实际海水的衰减系数(包括吸收和散射二部分)要比表2中的吸收系数大得多,而 光学深度 比表中列出的数据小很多。

各种类型海水在0.35~0.70微米谱段内的衰减系数曲线如图2所示。

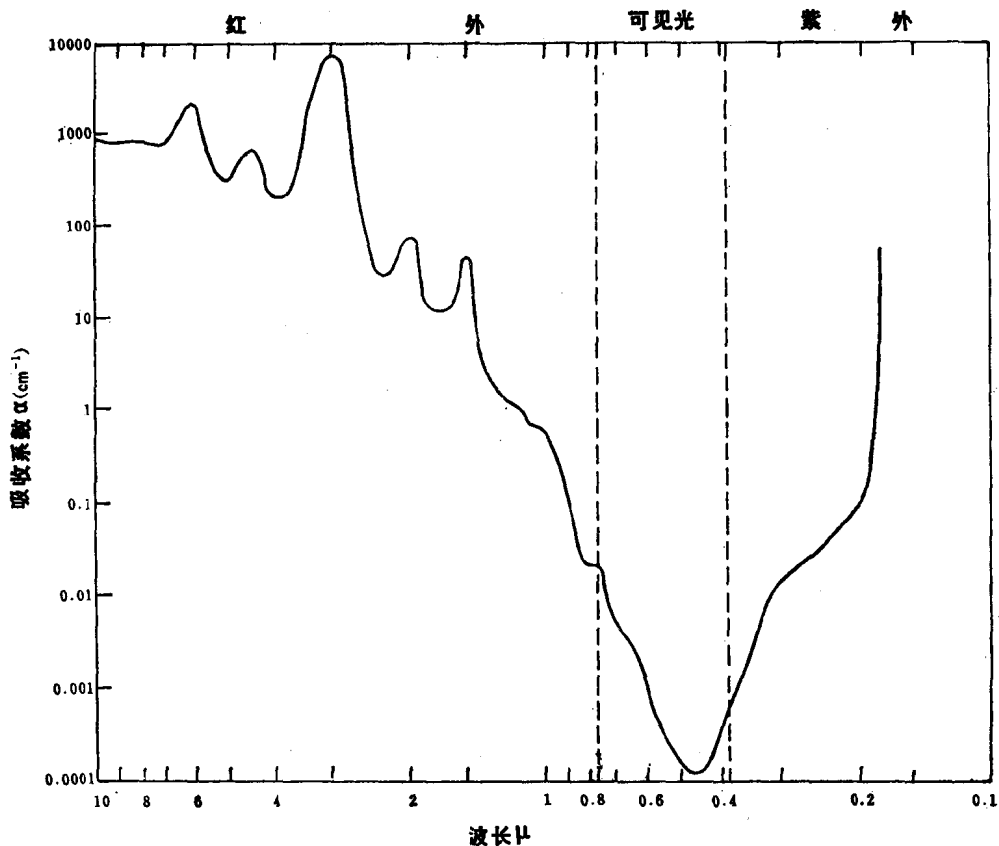


图 1 海水的吸收系数与波长的关系

表 2 主要光学传感器谱段对应的人造海水的的光学深度

传感器名称	运载卫星	谱段 (μ)	吸收系数 (cm^{-1})	光学深度 (m)
MSS 多谱段扫描仪	Landsat-1,2,3	MSS ₄ 0.5~0.6	5×10^{-4}	2 × 10
		MSS ₆ 0.6~0.7	35.7×10^{-4}	2.80
		MSS ₈ 0.7~0.8	269.8×10^{-4}	3.76×10^{-1}
		MSS ₇ 0.8~1.1	2×10^{-1}	5×10^{-2}
VHRR 甚高分辨力辐射计	NOAA-4,5	0.6~0.7	35.7×10^{-4}	2.80
		10.5~12.5	1×10^8	1×10^{-5}
CZCS 沿岸带水色扫描仪	Nimbus-G	0.443	1.2×10^{-4}	8 × 10
		0.520	3×10^{-4}	3 × 10
		0.550	5×10^{-4}	2 × 10
		0.670	42.2×10^{-4}	2.37
		0.750	269.8×10^{-4}	3.76×10^{-1}
		11.5	1×10^8	1×10^{-5}

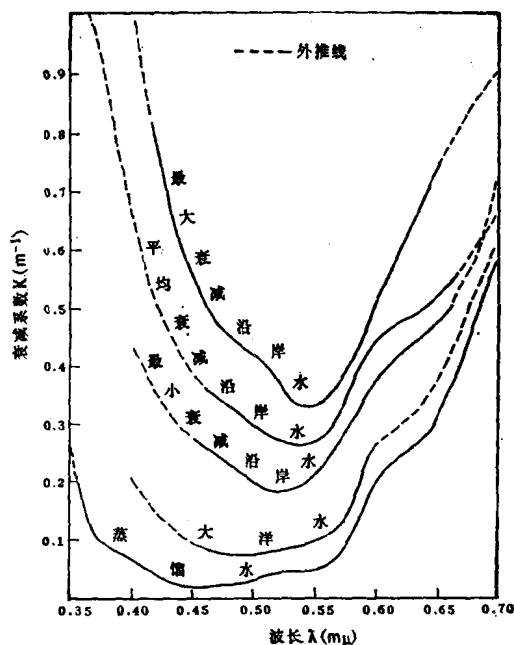


图 2 各种水样的衰减系数曲线

二、海水的可见光遥感透视深度表达式的推导

装载在工作平台上的传感器接收到的光能量，是海洋在谱段 $\Delta\lambda$ 内进入传感器视界角之上的上行辐射能量。在忽略大气影响的条件下，传感器能够接收到的光能量是由三部分组成的：

$$E = E_s + E_w + E_b, \quad (5)$$

式中 E_s 为海面辐射能量(反射的自然光)， E_w 为海水辐射能量(散射的自然光)， E_b 为海底辐射能量(反射的自然光)。当海水足够深或海水透明度很低或底质为深颜色物质时， E_b 可以忽略。适当选择传感器的工作时间和观测角度等，可以避免海面对太阳光的镜面反射，这时，传感器接收的能量主要为海水的辐射能量，即

$$E \approx E_w. \quad (6)$$

目前，可见光遥感系统向用户提供的主要产品形式为胶卷或照片，即便是计算机用磁带，也常常被还原成照片，才具备直观、明显的特点。象航空照像机和星载照像机这样的传感器，直接把接收到的目标辐射能量记录在感光胶片上，并且可直接回收这些胶片。而较多的航天可见光遥感系统如“MSS”和“VHRR”等，虽然不是直接回收胶片，但传感器将模拟信息传输到地面接收站以后，还是要经过光电转换，使胶片感光，从而实现记录信息的目的。因此，可以认为，可见光遥感系统的一个突出特点是，用使感光材料感光成像的方式记录目标辐射能量的大小。

通常，感光材料曝光后的密度 D 与曝光量 E (即系统接收到的辐射能量) 的关系如图 3 所示。这一曲线称为感光材料的特性曲线。