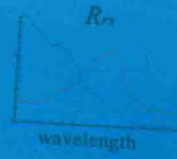


$$R_{rs} = G \frac{b_b}{a+b_b}$$



$$R_{rs} = \frac{L_w}{E_d}$$

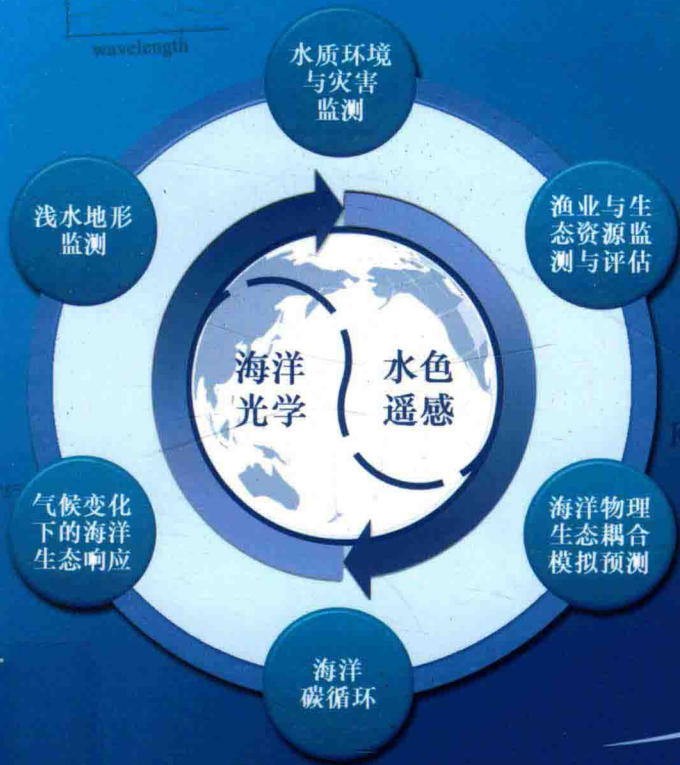
水色学概览

$$K_d = m_0 a + v b_0$$

《水色学概览》编写组 / 译著



$$R_{rs} = \frac{L_w}{E_d}$$



$$R_{rs} = G \frac{b_b}{a+b_b}$$

$$K_d = m_0 a + v b_0$$



厦门大学出版社
XIAMEN UNIVERSITY PRESS

国家一级出版社
全国百佳图书出版单位

SHUISEXUE
GAILAN

水色学概览

《水色学概览》编写组

译、著：白 雁 崔廷伟 冯 炼 乐成峰
李忠平 潘晓驹 商少凌 唐军武
邢小罡 修 鹏 张运林

编 辑：李忠平



厦门大学出版社 国家一级出版社
XIAMEN UNIVERSITY PRESS 全国百佳图书出版单位

图书在版编目(CIP)数据

水色学概览/《水色学概览》编写组译著. —厦门:厦门大学出版社, 2019. 4
ISBN 978-7-5615-7267-2

I. ①水… II. ①水… III. ①水色 IV. ①P731.14

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 289261 号

出版人 郑文礼

责任编辑 陈进才

出版发行 厦门大学出版社

社址 厦门市软件园二期望海路 39 号

邮政编码 361008

总编办 0592-2182177 0592-2181406(传真)

营销中心 0592-2184458 0592-2181365

网 址 <http://www.xmupress.com>

邮 箱 xmup@xmupress.com

印 刷 厦门市竞成印刷有限公司

开本 889 mm×1 194 mm 1/16

印张 8

字数 250 千字

版次 2019 年 4 月第 1 版

印次 2019 年 4 月第 1 次印刷

定价 99.00 元

本书如有印装质量问题请直接寄承印厂调换



厦门大学出版社
微信二维码



厦门大学出版社
微博二维码

序

2002年5月15日,我国成功发射了第一颗海洋水色卫星(海洋一号A星),开启了中国海洋水色遥感的新天地。5年之后,即2007年4月11日,第二颗海洋水色卫星(海洋一号B星)上天。而就在最近,即2018年9月7日,第三颗海洋水色卫星(海洋一号C星)又升空。随着一颗一颗海洋水色卫星的相继发射,越来越多的人在问:“什么是水色?”“为什么要遥感水色?”“怎样应用水色?”恰逢此时,旨在回答这些问题的《水色学概览》一书破壳而出,与海洋一号C星“硬软”呼应,可喜可贺!

“水色学”(ocean color sciences)似乎是一个陌生的名称,但相信当你带着疑惑翻开此书,读毕,疑惑将烟消云散。水色学是一门研究海洋光学机理与模型、水色遥感原理与方法以及现场与遥感光学数据的处理、分析与应用的自然科学与信息工程科学相融合的交叉学科。通过“水色学”,“海洋光学”与“海洋遥感”两个“双胞胎”学科互联互通,互补互融,顺应了国际发展趋势。

李忠平博士发起编写倡议,召集了国内活跃于水色研究界的佼佼者,在国际水色协调工作委员会(International Ocean Color Coordinating Group, IOCCG)编写的系列报告第七辑(IOCCG Report #7)——*Why Ocean Color? The Societal Benefits of Ocean-Color Technology*的基础上,集众贤之能,承实践之上,总结国内外经验,挥笔撰书,言理论,论技术,摆范例,成就了《水色学概览》。该书包含12章,涵盖水色学的内涵(即海洋光学和水色遥感机理)和水色学的外延(即在海洋生物地球化学与全球变化研究、水环境监测等方面的作用)。该书的出版对水环境领域的学术研究、人才培养、科学管理都将具有十分

重要的参考价值。其系统性地回答了关于水色的“三问”，令同住一个地球村的读者对海洋水色之妙、卫星遥感之炫恍然顿悟；亦如绽放在海洋遥感界的一朵水色科技之花，在中国海洋水色遥感的史册上留下浓墨重彩的一笔。

回首过往，30年前我初投入水色学领域之时，我国在该领域尚一片空白；而今日日新月异，人才辈出，着实欣喜。未来的日子里，祝愿我们的水色学领域继续发扬光大，与国际同行携手比肩，甚而独领风骚！

寥寥数语，是以为序。

潘德炉



2018年12月



目 录

第1章 水色学总论	唐军武 张运林	1
1.1 背景与范畴.....		1
1.2 海洋光学与水色遥感.....		3
1.3 水色遥感数据的应用例子.....		4
1.4 小 结.....		10
第2章 水色学基本参数	张运林	11
2.1 辐射度学参数.....		12
2.2 水体光学特性参数.....		13
2.3 环境监测参数.....		15
2.4 水体分类参数.....		17
2.5 小 结.....		18
第3章 水色学与生物海洋学	商少凌	19
3.1 全球海洋浮游植物认知的重大进展.....		19
3.2 浮游植物生物量的遥感反演.....		21
3.3 浮游植物类群遥感.....		22
3.4 海洋初级生产力遥感.....		24
3.5 小 结.....		25
第4章 水色学与化学海洋学	乐成峰	26
4.1 海洋碳系统.....		26
4.2 氮循环.....		29



4.3	铁和 pH 值	31
4.4	小 结	31
第 5 章	水色学与水质监测	潘晓驹 32
5.1	水质水色遥感监测的概念框架	32
5.2	水体透明度	34
5.3	近海富营养化	35
5.4	悬浮颗粒物	37
5.5	城市黑臭水体	38
5.6	小 结	39
第 6 章	水色学在环境灾害监测中的应用	冯 炼 41
6.1	有害藻华	41
6.2	大型漂浮藻类暴发	43
6.3	海洋溢油	44
6.4	低氧区监测	46
6.5	小 结	46
第 7 章	水色学与浅水地形	李忠平 冯 炼 47
7.1	基于辐射传输的浅水地形遥感	47
7.2	基于水迹线变动的方法	50
7.3	浅水地形遥感的趋势和挑战	52
7.4	小 结	54
第 8 章	水色学与海洋渔业和海洋生态系统	崔廷伟 55
8.1	大洋渔业	55
8.2	海水养殖	58
8.3	典型海洋生态系统监测	60
8.4	基于生态系统的海洋管理	62
8.5	珍稀海洋动物保护	65
8.6	小 结	66
第 9 章	水色学和海洋碳循环	白 雁 67
9.1	基于卫星遥感的海洋碳循环研究	67



9.2	海—气 CO ₂ 通量遥感	68
9.3	上层海洋有机碳储量遥感	69
9.4	颗粒有机碳 (POC) 垂向输出通量遥感	72
9.5	陆源有机碳通量及陆架碳侧向输运遥感	74
9.6	小 结	75
第 10 章	水色学与物理—生物过程的耦合	修 鹏 76
10.1	水色遥感对海洋动力过程的刻画	77
10.2	物理过程对浮游植物与初级生产的影响	77
10.3	生物对物理过程的反馈	79
10.4	水色数据与数值模式的结合	82
10.5	小 结	83
第 11 章	水色学与气候变化	邢小罡 85
11.1	卫星遥感对气候变化研究的重要性	85
11.2	水色数据在气候研究中的重要贡献	86
11.3	气候变化背景下的浮游植物长期变化趋势	86
11.4	短期气候振荡的生态响应	88
11.5	气候变化背景下的海洋浮游植物多样性	89
11.6	满足气候学研究需要的水色遥感数据集	90
11.7	小 结	91
第 12 章	趋势与挑战	李忠平 唐军武 92
12.1	改进传感器	93
12.2	改进理论算法模型	94
12.3	拓展水色遥感数据产品及服务	95
12.4	展 望	96
参考文献		98
后 记		116

第1章 水色学总论

唐军武¹ 张运林²

1 青岛海洋科学与技术国家实验室

2 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 湖泊与环境国家重点实验室

1.1 背景与范畴

水, 生命之本, 占人体质量的 70% 左右, 地球表面约 71% 被水覆盖! 碧玉般的湖水, 总是惹人喜爱; 蔚蓝色的大海, 每每引人遐想。可是, 很少人会思考, 我们眼中所见水的颜色, 何以时而碧绿时而蔚蓝? 遑论日日用的一盆盆清透的水, 全然是没有颜色的。当然, 好奇的孩子们第一次来到蓝蓝的大海边, 往往会问: “海水为什么是蓝色的?” 倘若来到的是一个人流如织、渡船穿梭的海湾, 孩子们或许会一脸的失望: “为什么这里的海不是蓝色的?”

事实上, 引起海洋表面颜色变化或者异常的原因有很多, 比如天空光的变化能改变我们眼睛所看到的海水的颜色, 水体中的泥沙使得海水呈棕色, 水体中的藻类使其呈绿色, 等等。然而人们希望看到海水呈现蓝色, 一旦海洋不是我们所熟悉的蓝色, 担忧就开始了。

尽管人们不知道导致海水颜色变化的物理、化学原因, 但大多数人知道(海)水的颜色与其中的物质和生物体直接相关, 能直观地感受到水质的好坏。尽管人们可能不知道遥感影像是怎样产生的, 但来自海洋水色传感器的影像已经被媒体用来说明异常事件, 如沙尘暴、飓风、火灾、雾霾等, 因而人们可能对海洋水色图像已有所了解。这些影像也可以解译出与海洋直接相关的事件, 如赤潮(图 1.1)或洪水引起的



图 1.1 2007 年 2 月 23 日南非福尔斯湾沟鞭藻 (*Gonyaulax polygramma*) 暴发
(图片来自 Pitcher et al., 2008)

部分内容源自 IOCCG Report #7 第 2 章。

泥沙输入。人们或许从未见过海洋的色彩图像,但大多数人都明白赤潮或其他事件产生的不同颜色意味着海洋中的某种东西与海洋常态的不协调。

由于浮游植物、悬浮泥沙及溶解物能够吸收和(或)散射来自太阳系统,特别是可见波长范围内的自然光,因此会对水下光场及穿越水气界面的向上辐亮度光谱产生深刻的影响。这个辐亮度的强度及其随波长的变化可以由辐射计或类似仪器测量,研究该技术的学科称为辐射度学(radiometry)。因此,通过分析这一光谱的变化能够感知水中及水下的成分,并由此衍生出“水色学”。

水色学(ocean color sciences)是一门研究海洋光学机理与模型、水色遥感原理与方法以及现场与遥感光学数据的处理、分析与应用的自然科学与信息工程科学相融合的交叉学科。由于“海洋光学”与“海洋(水色)遥感”两者既有重叠又互不包含,因此通过“水色学”的概念将其融合与统一,既符合两个学科内在的研究需求,也符合目前国际上的发展趋势。水色学的内涵包括海洋光学与水色遥感的所有研究内容,是光学、遥感科学以及海洋学与湖泊学的交叉学科(图 1.2)。它所涉及的学科(代码)包括海洋物理学(D0602)、海洋光学(F051105)、海洋信息获取与处理(F011310)、水色与水质光学信息获取与处理(F051103),以及海洋遥感(D0610)等。水色学的外延则涵盖“环境监测”与“海洋科学”两个方面:环境监测方面具体体现在水质环境监测、灾害监测、浅水地形监测以及渔业与生态资源监测及评估等;海洋科学方面具体体现在海洋碳循环、海洋物理生态耦合与模拟预测以及气候变化下的海洋生态响应等。它所涉及的学科(代码)包括海洋监测与调查技术(D0607)、海洋环境科学(D0608)、生物海洋学与海洋生物资源(D0609)、遥感机理与方法(D0106)、遥感信息分析与应用(D010702)等。

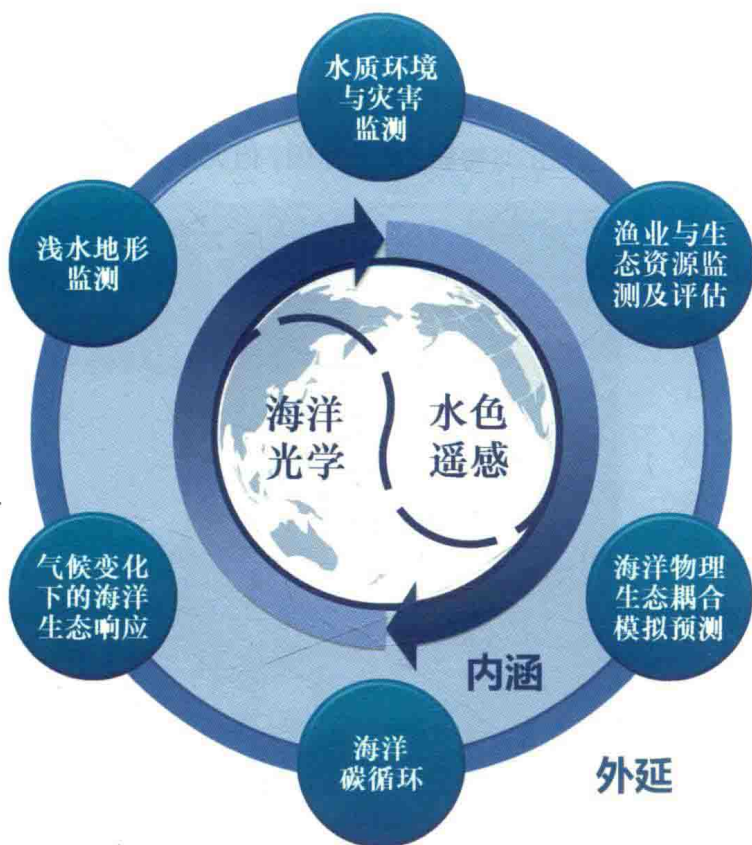


图 1.2 水色学的内涵与外延

1.2 海洋光学与水色遥感

海洋光学 (ocean optics 或 marine optics) 是研究光在海洋 (水体) 及其相邻介质与界面中传输规律的理论和技术统称, 是海洋物理的分支之一, 也是传统光学中辐射度学在环境方面的应用之一。海洋光学是水色学、水色遥感的基础, 水色遥感又在很大程度上推动了海洋光学的发展。由于大洋水体的光学特性主要由浮游植物决定, 因此人们早期也常常在不同的场合将海洋光学称为海洋生物光学 (bio-optics)。

海洋光学的第一种仪器, 一般认为是目前依然在广泛使用的塞克盘 (Secchi disk), 其“定量”测量水体透明度的历史已有 150 年以上, 但近些年才给出其科学合理的分析模型 (Lee et al., 2015)。海洋光学理论体系的建立, 一般认为是在 1976 年 Nils G. Jerlov 的经典著作 *Marine Optics* 和 1976 年 Rudolph W. Preisendorfer 六卷本 *Hydrologic Optics* 上完成的; 20 世纪 90 年代中期, Curtis Mobley (1994) 的 *Light and Water: Radiative Transfer in Natural Waters* 和 John Kirk (1994) 的 *Light and Photosynthesis in Aquatic Ecosystems* 是较完备的海洋或自然水体光学理论体系形成的标志。而透过大气进行水色遥感的开创性理论与技术实践工作由 Austin (1974) 等人开始; 海洋光学、水色理论与遥感器、现场光学仪器的高精度结合与系统性工作, 由 Howard R. Gordon、Denis K. Clark、Andre Morel 等 (1983) 在第一代水色卫星遥感——CZCS (Coastal Zone Color Scanner, 1978—1986) 计划中实现。这个阶段工作的总结可参见 Gordon and Morel (1983) 的文献。

受第二代水色遥感——主要是 SeaWiFS、MODIS 和 MERIS 三大计划以及海洋水质生态环境观测、探测需求的推动, 海洋光学仪器设备从 20 世纪 90 年代开始快速发展。著名的固有光学 (inherent optic properties, IOP) 测量仪器, 如美国 Wetlabs AC9、Hydrolabs HS-6, 表观光学 (apparent optic properties, AOP) 测量仪器, 如美国 BioSpherical PRR、加拿大 Satlantic SPMR/SMSR 等在 20 世纪 90 年代出现, 伴随现场叶绿素荧光、实验室光度计、高效液相色谱 (high performance liquid chromatography, HPLC) 等测量手段的日益成熟, 为后续海洋光学的发展及水色遥感的半分析算法研究、数据产品的定标检验等奠定了扎实的技术基础。

利用卫星遥感开展水色辐亮度测量已有 40 余年的历史, 相关文献在 20 世纪 70 年代就有报道 (Hovis and Leung, 1977)。但专门的水色卫星平台很少, 多数是搭载有水色传感器的多传感器卫星平台, 如美国的 NIMBUS-7、EOS-AM/PM, 欧洲空间局的 ENVISAT, 日本的 ADEOS 等, 其卫星上分别载有沿岸带水色扫描仪 (CZCS)、中分辨率成像光谱仪 (moderate-resolution imaging spectroradiometer, MODIS) (其 36 个通道中只有 9 个是为水色遥感专门设计的), (欧洲) 中分辨率成像光谱仪 (medium resolution imaging spectrometer, MERIS) 和 Sentinel, (日本) 海洋水色水温扫描仪 (ocean color and temperature scanner, OCTS) 等水色遥感器。我国也先后成功发射 HY-1A、HY-1B、HY-1C 水色遥感卫星。

然而, 在整合遥感数据和长时间序列的实测数据时, 遥感数据的精度依然是主要问题之一。每

个卫星数据都有其自身的特点,对于海洋水色卫星而言,问题更为严峻,即使如甚高分辨率辐射计(advanced very high resolution radiometer, AVHRR)这样的仪器也不例外。特别是任何一个传感器的观测寿命都是有限的,因此需要对不同传感器的水色产品进行连接来获得针对大洋的长时间序列产品,而如何准确地同化不同传感器的产品是一个巨大挑战。基于 CZCS 遥感数据,科学家获取了 1978—1986 年世界各大洋叶绿素浓度的变化趋势(Antoine et al., 2005; Gregg et al., 2002)。美国航空航天局(National Aeronautics and Space Administration, NASA)曾专项资助以确定是否可以通过仿真的方法对 CZCS 和 OCTS 数据进行再处理后使其具有可比性。而研究结果发现,由于传感器性能和工作条件的差异,将不同的遥感数据集连接起来非常困难。另一个合并的数据集是全球多参数数据集(ESA DUE GlobColour, <http://www.globcolour.info>),它是 SeaWiFS、MERIS 和 MODIS 数据的集合。对不同传感器数据的整合不仅提高了观测时间的长度,而且增加了观测空间的广度,特别是利用 3 个传感器数据的同化可以确保每天对海洋区域的覆盖超过 30%(IOCCG, 1999)。

水色测量与分析是地球观测中的重要环节。整个海洋上层以叶绿素浓度为表征的浮游植物的大面积分布,通过水色学可在短时间内获得具有一定准确度和精度的数据,这已是不容置疑的事实。水色学的研究结果革命性地改变了生物海洋学领域,并且已经为生物地球化学、物理海洋学、海洋系统模式、海洋渔业、海岸带管理等方面做出了重要贡献。水色学技术以相对低廉的投资获得了极高的回报。特别是与那些当今突出的气候变化相关问题一样,水色学的技术特征决定了它是全球范围的。更进一步地说,水色是我们进入全球范围海洋生态系统研究领域的唯一技术窗口,而要研究海洋生态系统的大面积宏观状态和动态过程,从水色遥感的浮游植物分布着手是一个合乎逻辑的开端。水色学已经为快速发展的业务化海洋观测和研究做出了有效的贡献。但水色学涵盖的相关研究依然年轻,其研究活动的开展必须得到进一步鼓励和支持,否则其科学创新与发展会停滞,进而阻碍我们对湖泊、海洋和地球系统的观测和认知。

1.3 水色遥感数据的应用例子

1.3.1 资源及生态环境监测

通过分析水色辐亮度光谱得到的一个重要参数是海洋和湖泊中的叶绿素浓度——一个浮游植物生物量的指标。在水生态系统中,浮游植物是一个关键性的生态参数:它将无机二氧化碳(CO_2)转化为有机碳,维持生态系统中其他更高级生命体的生存。简而言之,水色量化了海洋食物链的基础部分。海洋水色数据也可以用于分析近岸环境对水体水质的影响,如悬浮物的输移、营养盐的垂直传输引起的藻类暴发(图 1.3)等。利用 MODIS 的 250 m 和 500 m 分辨率波段对蓝藻(*Cyanobacteria*)暴发的发生发展过程进行监测,表明该数据在近岸或湖泊监测蓝藻暴发的适用性(Hu et al., 2010a),其结果对水产养殖业也具有重要的意义。

深海捕鱼船可以通过订购商业服务公司提供的寻鱼系统或产品来提高他们的捕鱼效率。这样的



寻鱼系统是基于遥感监测的叶绿素浓度和地表温度数据、风速风向数据以及判断方法来预测鱼群位置的。潜水队也希望利用遥感数据来判断水体是否足够清澈和安全。海上油气平台同样需要参考遥感数据、地表温度数据、海平面高度数据等来监测海洋状况。在更大的范围内,利用卫星数据得到的叶绿素浓度和地表温度数据,印度已经建立了一套科学指标体系指导近600万渔民寻找潜在捕鱼区位置。此外,海洋水色数据也可以用来观察海洋漏油事件及其对海洋生态系统的影响,为生态系统的补救和恢复提供科学依据。

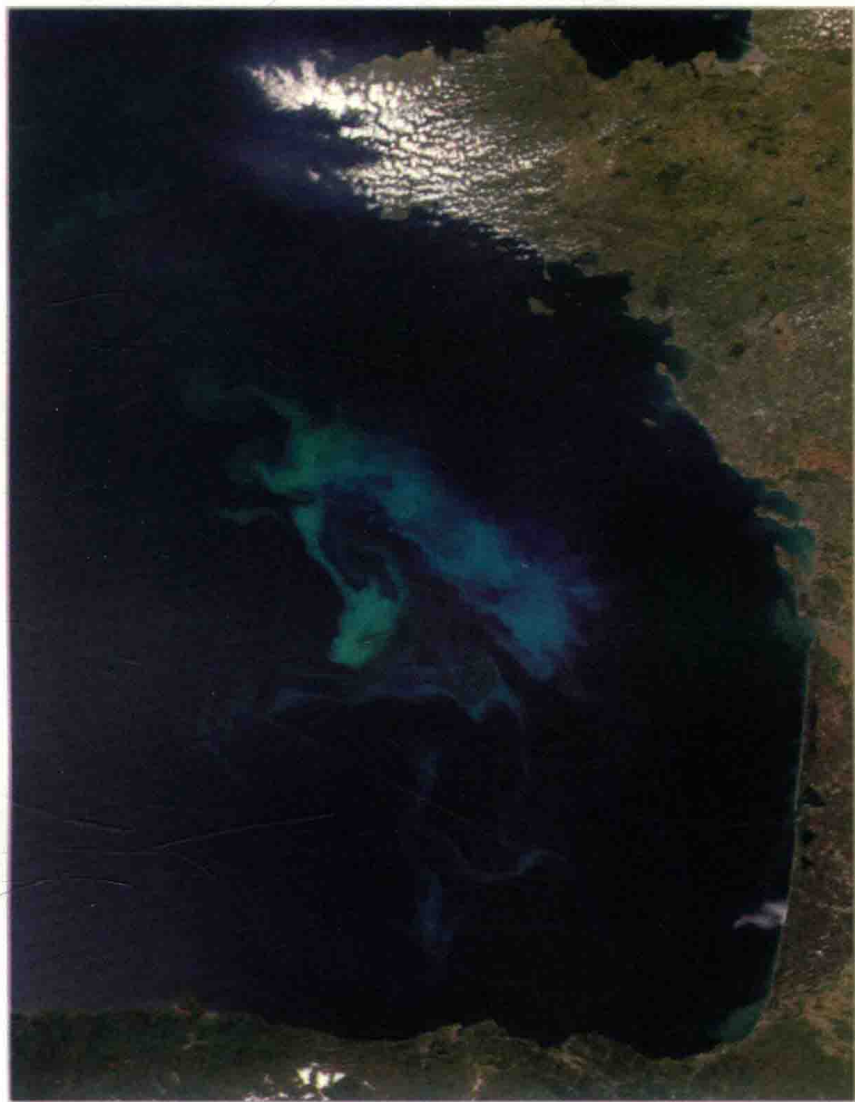


图 1.3 2004 年 5 月 16 日 MODIS-Aqua 获得的法国比斯开湾 (Bay of Biscay) 发生的可能由
颗石藻 (*Coccolithophorids*) 引起的浮游植物藻华
(图片来自 Jeff Schmaltz, MODIS Rapid Response Team, NASA/GSFC)

海洋水色辐射数据已经被广泛地用于监测海洋中一些珍贵动物的生活环境和条件。例如,鲸鱼、海豚、鳍等的分布,企鹅和海龟的运动与迁移,均直接或间接地与叶绿素浓度或海表状况相关。在白令海,研究发现鲸鱼的位置与水体的清澈度有关 (Tynan, 1998); 而被标记的海龟在夏威夷北部的觅食路线是一条明显的叶绿素带 (Polovina et al., 2001); 凯尔格伦岛 (Kyle Glen Island) 的海象被发现集中分布在叶绿素浓度高的地区 (Guinet et al., 2001)。

康奈尔大学创建的露脊鲸保护系统采用海洋水色以及其他遥感数据来预测桡足类红鳍哲鱼(鲸类的主要食物物种)的空间分布(Clapham, 2004);在墨西哥湾北部,通过海洋水色数据以及原位数据发现抹香鲸的分布与环流涡流显著相关(Biggs et al., 2005);在春天,抹香鲸经常出现在叶绿素浓度高的地方(Moore et al., 2002)。另外一项在加拉帕戈斯(Galapagos)群岛周围的研究则结合海表高度和海洋水色数据来确定海豚可能觅食的区域,结果表明海豚集中在群岛西侧(Palacios, 2010)。

海洋水色数据也被广泛应用于监测和量化海洋悬浮物浓度的分布(图 1.4),并观察悬浮物输移引起的底部地形变化。悬浮物可以改变航道的走向或者降低运输渠道的深度,因此航道或港口附近悬浮物的分布及输运备受关注。SeaWiFS、MODIS 和 MERIS 水色遥感数据已经被广泛用于港口、河道悬浮物浓度输移研究(Lahet and Stramski, 2010; Teodoro et al., 2009; Zhang et al., 2016)。



图 1.4 MERIS 遥感影像获得的 2003 年 11 月 8 号孟加拉海岸线及恒河(Ganges River)泥沙入海分布
(图片来自于欧洲太空局)

此外,准确了解海底水深和地形在军事应用和海岸带管理中都具有十分重要的意义。Landsat 等光学卫星数据已被广泛应用于浅海、海湾和河流水下地形探测(Feurer et al., 2008; Lyzenga, 1978)。水体和底部的光学特征分析对于港口保护、海水物质的变化监测以及水体清晰度的反演都具有重要作用(Carder et al., 2003)。

1.3.2 气候变化响应与适应

全球都在关注气候变化以及人类活动对当前和未来气候变化的影响,而海洋水色数据在理解海洋生

态系统对气候变化的响应和适应上是不可或缺的。尽管海洋水色传感器采集的数据大多为中等空间分辨率(1~10 km),但它能够为天气系统提供大尺度空间视角,并且能够有效监测重大气候事件对海洋环境的影响,尤其是台风和飓风过程能在海洋水色影像上留下明显的痕迹。飓风的观测揭示了它们与海洋环境相互作用的过程: 高风速的飓风搅动水柱,把有色可溶性有机物和营养物质带到水面,在遥感影像上表现为有别于其他水体的颜色特征(Hoge and Lyon, 2002; Shi and Wang, 2007),当飓风到达海岸时,由飓风引起的再悬浮携带大量颗粒物到开阔海域(Acker et al., 2002); 飓风引起的强降雨形成洪水,导致大量陆源物质进入海洋,影响近岸生态系统。除了飓风,其他影响较大的气候现象,如暴风雨和风暴同样会引起颗粒物的再悬浮,形成洪水,显著提升海洋水体悬浮物浓度并转移到它处(Mertes and Warrick, 2001)。

尽管天气变化只在短时间内影响海洋,但是气候变化对海洋生态环境的影响可以长达数月甚至数年。一个早期的例子是用遥感数据来观测出现在1982—1983年的气候变化和海洋相互作用过程(Feldman et al., 1984)。研究者发现 CZCS 记录到了海洋生物对厄尔尼诺现象的响应。CZCS 数据显示,在厄尔尼诺期间,赤道附近,尤其是加拉帕戈斯(Galapagos)群岛附近的水域,浮游植物色素浓度明显降低。此观测证实,厄尔尼诺现象显著地改变了太平洋水生生物的生长。1997年9月发射的 SeaWiFS 卫星也恰巧捕捉到另一个重要的厄尔尼诺事件,该过程的强度在1997年11月到1998年5月达到最大。SeaWiFS 的连续观测发现,1998年6—7月赤道附近叶绿素浓度增加,该区域的生物活动则显著增加(Chavez et al., 1998)(图1.5)。另外,从厄尔尼诺到拉尼娜期间,海洋系统对碳的吸收发生了重大改变(Behrenfeld et al., 2001)。当然,海面高度数据、海温数据、海面风数据同海洋水色数据一样都是遥感数据,它们是科学家用来诊断太平洋年代际振荡、北大西洋涛动和北极振荡发生原因的重要数据来源。基于不断积累的大数据和对动态过程的认知,科学家期望通过这些事件来探索全球气候变化的奥秘。



图 1.5 1997—1998 年厄尔尼诺年太平洋 SeaWiFS 影像,其间赤道地区的浮游植物活动显著减少(上图),在紧接着的拉尼娜期间赤道附近浮游植物活动显著增加(下图)
(图片来自 SeaWiFS Project, NASA/Goddard Space Flight Center and GeoEye)

1.3.3 灾害与生态系统预测预警

基于海洋水色数据的生态预测是环境研究的一个重点。将影像数据用于预测预报模型的例子有很多,其中墨西哥湾赤潮预测预报系统是这类应用的一个早期例子(Tomlinson et al., 2004)。耦合水色数据和水动力模型、蓝藻水华迁移堆积模型也被应用于内陆湖泊蓝藻水华监测和预测预警(Qin et al., 2015)。海洋水色数据非常适合检测汇聚区和海洋锋面,影像数据还可以用于预测水母和虹吸体的运动,如葡萄牙战舰水母和澳大利亚的致命箱水母。美国国家海洋和大气管理局(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)基于海荨麻(*Chrysaora quinquecirrha*)分布与盐度、海表温度的关系,为切萨皮克湾(Chesapeake Bay)研发并实施了海荨麻预测系统(Decker et al., 2007)。类似的系统包括基于海洋水色数据构建的水色特征与螯刺和(或)有毒物质的潜在发生面积的关系。

水中细菌含量高,海滩和沿海地区极容易遭受其危害。这种情况也可能由大量雨水和污水排放引起,并可能导致相关的蓝藻暴发(图 1.6)。此外,通过食用海产品或者在水中作业,大量的细菌可能导致胃肠道疾病。对此,海洋水色数据可用于监测水质和水体透明度状况(Chen et al., 2007b; Hu et al., 2004),也可用于对水质变化的短期预测,从而辅助有关人员为了公共安全决定是否关闭沙滩等场所。



图 1.6 MODIS-Aqua 2003 年 8 月 12 日获得的地中海非洲沿岸海域高亮特征图片(成像时间为阿尔及尔城市特大暴雨后的几天,图中特征成因包括因摄取径流羽营养盐而暴发的浮游植物、城市污水和悬浮泥沙)

(图片来自 Jacques Desclotres, MODIS Rapid Response Team, NASA/GSFC)



有研究显示,霍乱的暴发与浮游植物的疯狂生长显著相关(Colwell, 1996)。基于这种关系,海洋水色数据在霍乱暴发时期被用于研究霍乱地区的陆地和水生生态系统之间的联系(Lobitz et al., 2000),以期确定气候与霍乱等传染性疾病之间的关系,进而预测未来几十年里气候变化对疾病进展和传播的影响。

1.3.4 航运与油气开发

使用海洋水色数据的领域还包括商业运输和油气开发。对于大众而言,这种服务或许是看不见的,但是它对我们的日常生活和全球经济活动十分重要。油气海上钻井平台通常结合多种数据类型,如海表温度、海水深度以及海洋水色数据,对海洋状况进行分析,从而评估船舶和钻井的运营、维护的可能性(Leifer et al., 2012)。有效利用各种遥感数据不仅能避免不必要的延误,还能节省资金和时间,降低人员和设备的风险。

许多航运公司还利用海洋水色和海表温度数据辅助导航,以节省燃料并避开潜在的危险区域。一个典型的事件是:2001—2002年沃尔沃环球帆船赛期间,世界各地的帆船赛参赛船员都通过海洋水色和海表温度来绘制最快的路线(IOCCG, 2001)。对于每艘参赛的游艇,为了回馈企业的慷慨赞助,通过分析遥感数据获得即使很小的速度优势也是其赢得比赛的重要手段。

1.3.5 公众知识传播

上述例子主要用来说明水色数据在公众直接或间接利用海洋资源诸多方面的应用。另外一个日益重要的方面是,水色将在海洋学和地球科学教育中起到重要作用。例如,SeaWiFS 数据分析工具(SeaDAS)(Fu et al., 1998)、戈达德地球科学数据与信息服务中心(Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center, GESDISC)的交互式在线可视化与分析基础软件工具(interactive online visualization and analysis infrastructure, “Giovanni”)(Acker and Leptoukh, 2007),以及自然资源部第二海洋研究所和浙江大学开发的 Marine Satellite Data Online Analysis Platform-SatCO2(www.satco2.com)(Zhang and Bai, 2018),为学生们利用真实数据了解海洋环境、开展研究提供了途径。这些工具,结合更加简单的针对专题研究的数据存取与获取方法,为教育界提供了更加广泛的课堂教育和研究实践机会。同时,这些工具打开了之前被封闭的知识之窗,可让学生更好地了解基本的海洋过程,指导学生了解科学家是如何利用这些数据获得对海洋过程和物理—生物之间内在关系的认知。在这些工具的基础上,科学工作者们创建了统一格式的涵盖数十年观测的多任务的数据集,以更加有助于简化数据存取,发现那些短期数据无法体现的长期关系或趋势。同时,本科生或高中生在课堂中使用这些数据进行探索发现,促使公众(学生家长)也接触到这些数据,进而科学界和国际社会也将日益增强对水色数据价值的普遍性认识。