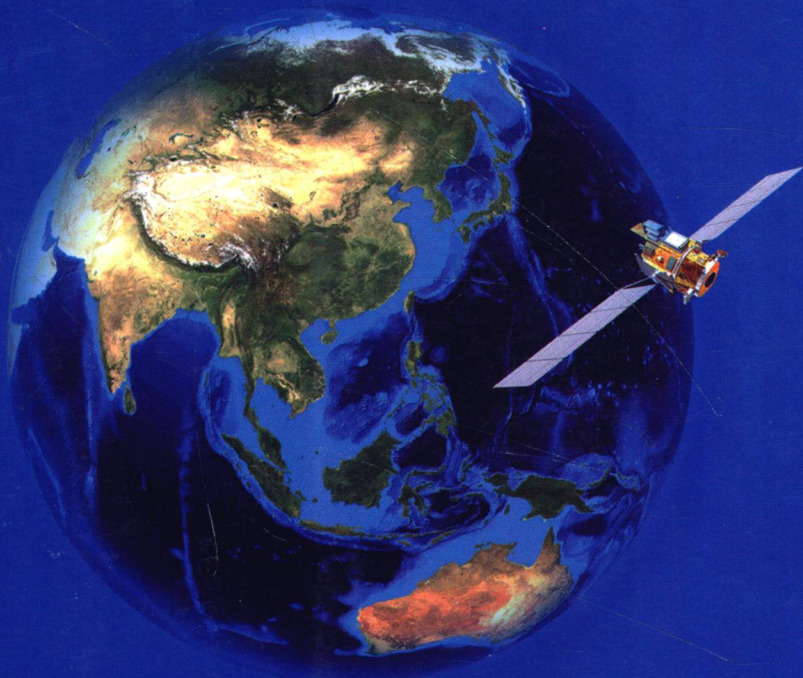




地球观测与导航技术丛书

海洋地理信息系统 原理与实践

周成虎 苏奋振 等著



科学出版社

P72
2013/国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

地球观测与导航技术丛书

海洋地理信息系统原理与实践

周成虎 苏奋振 等 著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书分三大部分,以海洋信息的表达与模型、海洋时空数据处理与分析、海洋信息应用与网络服务为主线展开论述。首先从信息论角度对海洋系统进行数字化解理解、从数字化角度对海洋观测与数据分析进行时空理解、从时空理解角度对海洋现实系统进行信息模型构建,重点是论述海洋地理信息系统的信息模型;其次从海洋地理信息系统的场分析、特征分析、综合分析和智能分析等层次论述海洋数据分析和应用研究,重点是海洋地理信息的方法论;最后针对海洋客观世界及社会客观需求角度,论述海洋信息网络远程服务中数据、信息和知识的语义描述方法,以及网络信息服务发现、抽取、自动生成、集成可视等方法,并介绍具体实现的网络信息服务系统和实际应用案例。

本书可供海洋、渔业、大气、地理、信息、测绘、遥感和地理信息系统等资源与环境相关学科科技人员、教师和研究生等阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

海洋地理信息系统原理与实践/周成虎等著. —北京:科学出版社, 2013. 1

(地球观测与导航技术丛书)

ISBN 978-7-03-036922-2

I. ①海… II. ①周… III. ①海洋地理学-地理信息系统 IV. ①P72

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第042273号

责任编辑:朱海燕 李秋艳/责任校对:刘亚琦

责任印制:钱玉芬/封面设计:王浩

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2013年1月第一版 开本:787×1092 1/16

2013年1月第一次印刷 印张:21 1/2

字数:486 000

定价:128.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《地球观测与导航技术丛书》编委会

顾问专家

徐冠华 龚惠兴 童庆禧 刘经南 王家耀
李小文 叶嘉安

主 编

李德仁

副主编

郭华东 龚健雅 周成虎 周建华

编 委 (按姓氏汉语拼音排序)

鲍虎军 陈 戈 陈晓玲 程鹏飞 房建成
龚建华 顾行发 江碧涛 江 凯 景贵飞
景 宁 李传荣 李加洪 李 京 李 明
李增元 李志林 梁顺林 廖小罕 林 琿
林 鹏 刘耀林 卢乃锰 孟 波 秦其明
单 杰 施 闯 史文中 吴一戎 徐祥德
许健民 尤 政 郁文贤 张继贤 张良培
周国清 周启鸣

《地球观测与导航技术丛书》出版说明

地球空间信息科学与生物科学和纳米技术三者被认为是当今世界上最重要、发展最快的三大领域。地球观测与导航技术是获得地球空间信息的重要手段，而与之相关的理论与技术是地球空间信息科学的基础。

随着遥感、地理信息、导航定位等空间技术的快速发展和航天、通信和信息科学的有力支撑，地球观测与导航技术相关领域的研究在国家科研中的地位不断提高。我国科技发展中长期规划将高分辨率对地观测系统与新一代卫星导航定位系统列入国家重大专项；国家有关部门高度重视这一领域的发展，国家发展和改革委员会设立产业化专项支持卫星导航产业的发展；工业与信息化部和科学技术部也启动了多个项目支持技术标准化和产业示范；国家高技术研究发展计划（863计划）将早期的信息获取与处理技术（308、103）主题，首次设立为“地球观测与导航技术”领域。

目前，“十一五”计划正在积极向前推进，“地球观测与导航技术领域”作为863计划领域的第一个五年计划也将进入科研成果的收获期。在这种情况下，把地球观测与导航技术领域相关的创新成果编著成书，集中发布，以整体面貌推出，当具有重要意义。它既能展示973和863主题的丰硕成果，又能促进领域内相关成果传播和交流，并指导未来学科的发展，同时也对地球观测与导航技术领域在我国科学界中地位的提升具有重要的促进作用。

为了适应中国地球观测与导航技术领域的发展，科学出版社依托有关的知名专家支持，凭借科学出版社在学术出版界的品牌启动了《地球观测与导航技术丛书》。

丛书中每一本书的选择标准要求作者具有深厚的科学研究功底、实践经验，主持或参加863计划地球观测与导航技术领域的项目、973相关项目以及其他国家重大相关项目，或者所著图书为其在已有科研或教学成果的基础上高水平的原创性总结，或者是相关领域国外经典专著的翻译。

我们相信，通过丛书编委会和全国地球观测与导航技术领域专家、科学出版社的通力合作，将会有一大批反映我国地球观测与导航技术领域最新研究成果和实践水平的著作面世，成为我国地球空间信息科学中的一个亮点，以推动我国地球空间信息科学的健康和快速发展！

李德仁

2009年10月

前 言

在我们这个蓝色的星球中，海洋不仅是原始生命孕育的摇篮，而且为人类生存与发展提供了丰富的资源和广阔的空间。人类对海洋的探索与研究悠久而绵长，在人类文明史中占据重要地位。例如，郑和七下西洋，构建出辉煌的海上丝绸之路；哥伦布海上探险与航海，开启了欧洲大陆与美洲大陆的交流。海洋的美丽和神秘赋予我们无限的想象，美国诗人玛丽·奥利弗在其《浪》的诗篇中赞美：无疑是大海，拥有宇宙间最美的面孔。

在当今全球化的时代，全球变化研究成为科学界共同关注的焦点，而厄尔尼诺、南方涛动等海洋特征则是其关键机制，且海洋也是全球碳循环的重要汇池；全球经济发展进入新阶段，海洋通道、海洋经济和海洋能源则变得日趋重要。由此，海洋权益索求和海洋冲突也日渐彰显，对海洋争夺和控制成为当今大国之间较量的重要体现。无疑，人类的 21 世纪将是一个海洋的世纪，拥有海洋、开发海洋和保护海洋成为新世纪国家实力和竞争力核心的象征。美国杰出的军事理论家阿尔弗雷德·塞耶·马汉在其 1890 年出版的《海权对历史的影响》中指出：海权即凭借海洋或通过海洋能够使一个民族成为伟大民族的一切东西。今天，制海权仍现其核心作用。

掌握瞬息万变的海洋动态，感知其运动变化规律，预测发展趋势，则是人类开发利用海洋和保护海洋的重要科学基础。综合对地观测系统与 Argo 全球海洋观测网等现代海洋观测技术的发展，使人类对海洋的观测与监测进入了一个新的阶段，实现了对全球海洋的同步观测、从海表到海底的立体观测、从物理到化学和生物的全要素观测。海洋观测能力的提升，极大地丰富了海洋科学研究的数据基础，并促进了一批以数据分析为特色的新海洋分支学科的诞生，海洋地理信息系统就是其中之一。

海洋地理信息系统是存储管理、分析模拟、展现与发布海洋信息的科学技术方法与工具，是地理信息科学和海洋科学相互融合所形成的交叉研究学科。其研究以海洋地理位置为统一基准，实现数据的存储、分析和表现，实现海洋信息资源的全数字化和全息化，使海洋空间数据获取、处理、存储、传输、管理、应用和服务成为一个顺畅的体系或整体。

海洋地理信息系统作为一个基础工具，可为管理和处理分析海量的海洋观测与分析数据提供一个先进的科学技术平台。例如，通过地理信息系统平台，实现对多源异构数据的处理和加工，从而获得地形、气温、气压、风场、温度、盐度、密度、海流、海浪、溶解氧等信息，为海洋科学家进行数值模拟和预报模型计算提供必需的强迫场、初始场和边界条件，提供海洋模式的应用分析能力。海洋地理信息系统的发展可集成和带动海洋相关分支学科及其相关学科的理论方法技术的研究，诸如各类海洋应用模型、海洋空间信息的获取、科学计算、海量数据的存储和压缩、网络协同、知识智能和虚拟现实技术等的研究。另外，在海洋综合管理和宏观决策方面，海洋地理信息系统可以提供

以海洋空间基准为基础的“定性、定位、定量”辅助决策信息，在海洋功能区划、海域使用管理、海域勘界、沿海工程审批与管理、海洋环境整治与保护规划、海洋渔业资源的利用等方面提供统一的海洋信息支撑。

全书以海洋信息的表达与模型、海洋时空数据处理与分析模型、海洋信息应用与网络服务为主线展开论述。各章节的具体内容和撰写分工如下：第1章主要介绍海洋数据分析相关概念和海洋地理信息系统的发展与学科内容，由周成虎、苏奋振和仇天宇撰写；第2章主要介绍海洋抽象和时空过程数据模型，由薛存金、苏奋振和仇天宇撰写；第3章主要介绍海洋场及其特征的分析方法，由王文宇、薛允传和仇天宇等撰写；第4章主要介绍海洋场综合分析方法与实践，由苏奋振、王文宇和张甲申等撰写；第5章介绍海洋场智能分析方法和实践，由苏奋振和杜云艳等撰写；第6章介绍海洋信息的网络共享服务，由肖如林和周成虎等撰写；第7章介绍海洋信息网络服务的实现与应用，由仇天宇、肖如林、何亚文和周成虎等撰写。全书由周成虎和苏奋振统稿完成。

本书的相关研究得到了国家自然科学基金重点项目(40830529)和国家“863”计划重大项目(2012AA12A400)等支持。本书研究工作得到了许多老一辈科学家和同行专家的指导和支持，特别要感谢国家“863”计划海洋领域海洋监测主题(“818”主题)专家组专家袁业立院士、李启虎院士、惠绍棠研究员、韩士鑫研究员、施平研究员、赵进平教授、田纪伟教授和王小如教授，以及管理专家郑立中司长、殷忠斌研究员和曹红杰研究员等。本书的出版得到了科学出版社的大力支持，在此表示衷心的感谢。

自20世纪90年代中期以来，我国的海洋地理信息系统研究走过了学科起步、应用带动、巩固发展等阶段，正朝着学科深化的阶段迈进。在过去的二十多年里，我们涉海洋，从小儿学步开始，多方请教海洋科学的专家学者，认真研习，逐步深入，始得点滴进展。本书是我们研究团队十余年研究的理论总结，奉献给读者，以期抛砖引玉，共同促进我国海洋地理信息系统的跨越发展。书中错漏和不足之处，敬请读者批评指正。

作者

2012年12月于北京

目 录

《地球观测与导航技术丛书》出版说明

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 海洋系统与海洋科学	1
1.1.1 海洋系统信息学分析	1
1.1.2 海洋科学空间信息学分析	3
1.2 海洋观测与海洋数据分析	4
1.2.1 海洋观测与监测	4
1.2.2 数值模拟与同化	6
1.2.3 海洋数据及其不确定性	7
1.2.4 海洋数据分析及其空间信息关系	9
1.3 地理信息科学与海洋地理信息系统	10
1.3.1 海洋制图与数据管理	11
1.3.2 海洋地理信息技术与系统	12
1.3.3 海洋地理信息服务	13
1.4 海洋地理信息系统的研究内容	15
1.4.1 海洋数据预处理	16
1.4.2 海洋时空表达	16
1.4.3 海洋数据分析	19
1.4.4 海洋模型集成	20
1.4.5 海洋信息可视化	20
1.4.6 海洋信息服务	21
第 2 章 海洋地理信息模型	23
2.1 海洋场与海洋现象	23
2.1.1 海洋场和海洋现象	23
2.1.2 海洋现象的数字理解	24
2.2 面向海洋要素场的场模型	31
2.2.1 海洋场的 GIS 表达	31
2.2.2 海洋场的格网模型	33
2.3 面向海洋测量和海洋现象的特征对象模型	40
2.3.1 海洋测量和特征表达	40
2.3.2 海洋现象和特征表达	44
2.3.3 海洋特征对象模型	47

2.4	面向海洋过程的时空过程模型	50
2.4.1	海洋时空过程的语义表达	51
2.4.2	海洋时空过程的对象化	56
2.4.3	海洋时空过程数据模型逻辑结构	68
2.4.4	海洋时空过程数据模型存储结构	77
第3章	海洋地理信息分析	84
3.1	要素场时空变化分析	84
3.1.1	总体格局分析	84
3.1.2	统计特征空间化分析	88
3.1.3	等值线空间特征分析	89
3.1.4	场时间序列主成分分析	97
3.2	海洋场微分分析	101
3.2.1	梯度与高度场	101
3.2.2	海面高度空间分析	103
3.2.3	海面高度时间分析	107
3.2.4	地转流特征分析	108
3.3	海洋锋提取	113
3.3.1	基于梯度的检测方法	113
3.3.2	基于统计的检测方法	119
3.4	海洋涡旋神经网络提取	125
3.4.1	人工神经网络基本原理	126
3.4.2	SST场涡旋检测	127
3.4.3	涡旋检测实验	129
3.5	潮沟系统分析	132
3.5.1	盖州滩潮沟发育与贝类生境区	132
3.5.2	黄河三角洲潮沟发育体系	137
第4章	海洋地理信息时空综合分析	144
4.1	东海区渔场时空模式分析	144
4.1.1	水温场时空分析	144
4.1.2	渔业资源空间分布	147
4.1.3	渔场资源的时空变化分析	149
4.1.4	渔场资源时空迁移分析	151
4.2	西北太平洋柔鱼资源时空分布分析	155
4.2.1	柔鱼渔场时空分布与特征演变	155
4.2.2	柔鱼资源的时间变化特征	158
4.2.3	柔鱼渔场作业重心位置分析	160
4.2.4	柔鱼生物学特征的时空分异	160
4.3	海洋鱼类资源结构性分析	164

4.3.1	中上层鱼类资源的时空分异分析	164
4.3.2	中上层鱼类资源的空间异质性	167
4.3.3	底层及近底层鱼类资源空间异质性	174
4.3.4	采样方案及其验证	180
4.4	渔场与环境空间关系探索性分析	181
4.4.1	渔场与环境的空间分析	182
4.4.2	柔鱼渔场与海洋锋的空间关系	185
4.4.3	柔鱼渔场与环境的空间模式研究	187
第5章	海洋地理信息智能分析	192
5.1	时空关联与推理	192
5.1.1	统计相关与空间相关	192
5.1.2	环境与渔场关联规则挖掘模型	194
5.1.3	基于粗集理论的地学对象表达	203
5.2	栅格化时空关联与推理	206
5.2.1	传统关联算法	206
5.2.2	粗集方法提取	212
5.2.3	传统方法与粗集方法比较	214
5.2.4	规则验证与规则应用	214
5.3	渔场案例推理与预报	216
5.3.1	中心渔场表达与案例库	217
5.3.2	案例相似性计算	219
5.3.3	案例推理模型	222
5.3.4	中心渔场预报实例研究	223
第6章	海洋信息语义服务集成	226
6.1	海洋地理信息服务集成	226
6.1.1	服务集成与语义异质性	226
6.1.2	开放地理信息服务框架	227
6.1.3	海洋信息网格框架体系	231
6.1.4	海洋知识本体库概念模型	236
6.1.5	海洋信息网格运行机制	246
6.2	海洋地理信息服务的语义描述	248
6.2.1	海洋知识库的本体建模	249
6.2.2	海洋地理信息服务语义标注	254
6.2.3	语义信息存储	259
6.3	语义支持的地理信息服务发现	264
6.3.1	服务检索模式	265
6.3.2	语义匹配度计算	266
6.3.3	服务发现及组合方法	273

6.4 海洋地理信息服务集成	281
6.4.1 数据的语义组织	281
6.4.2 基于语义的数据获取与集成	282
6.4.3 海岸利用数据集成应用实验	286
第7章 海洋信息语义网格与 Argo 应用	292
7.1 Argo 数据组织	292
7.1.1 数据表现与格式	292
7.1.2 浮标对象化方法	293
7.1.3 数据结构逻辑设计	294
7.2 海洋地理信息网格原型	297
7.2.1 基于网格的体系架构	298
7.2.2 基于网格的功能构成	299
7.2.3 基于网格的功能模块	300
7.3 Argo 数据分析示例	311
7.3.1 读取过程质量控制	311
7.3.2 基于 EMD 的系统误差订正	316
7.3.3 西北太平洋温盐结构探索性分析	319
参考文献	322

第1章 绪 论

海洋是人类重要的生存环境，在当今世界，海洋体现出更多的现实与战略意义。近些年海洋科学的研究也日新月异，许多先进的方法和仪器不断涌现，新数据增长异常迅速。为了高效有序地管理和研究海洋，海洋地理信息系统被前所未有的重视。本书所言海洋地理信息系统，是指用于存储、管理和分析海洋时空过程，服务于海洋研究、管理和开发的地理信息科学（geographic information science, GIS）。本书核心理念可以归结为一个核心、两个基本出发点，即以时空离散处理过程连续为核心，以时空栅格处理过程和以时空特征处理海洋动态现象为基本出发点，从而完成现实海洋世界连续时空过程的数字离散化，进而完成海洋过程在信息世界中的数字存储、管理和分析，为海洋的研究、开发和管理提供分析工具、操作平台和集成平台。

1.1 海洋系统与海洋科学

1.1.1 海洋系统信息学分析

自有文载，人们常设“天地”为人类活动空间，以“陆海”区分地球表面差异。其中海洋面积约为 $3.6 \times 10^8 \text{ km}^2$ ，占地球表面的 71%，约合陆地面积的 2.5 倍。其作为地球水圈的重要组成部分，同大气圈、岩石圈以及生物圈相互依存，相互作用，共同构成地球表面的人类生存环境。GIS 在研究陆地时，较多地关注陆表系统，但海洋系统却以客观三维空间存在。全球海洋的平均深度约 3800m，最大深度 11034m。

海洋是动态的，一是海洋水体自身的运动，二是海洋内部的运动，如鱼群迁徙和泥沙悬沉等，三是与其他系统的相互运动，比如与陆地水一起蒸发成水汽，凝结后，作为雨或雪降落在海洋和陆地上，陆地上的水流则携带各类物质最终注入海洋。在这基本的三维动态时空框架下，作为地球生物或人类的主要生存环境，海洋系统具有五大信息学特点。这些特点相互关联、相互制约、相互变动、密不可分。

1. 海洋空间分异性的信息学分析

海陆分布的不均匀性及其对比性、数以万米的海洋水平尺度与数千米的垂直尺度的差异、海洋的分割和连通等自然特性导致了海洋水体的空间分异特性。另外，由于太阳辐射的空间分异，导致水体物理、化学和生物学差异。比如，赤道附近的水温显著地高于高纬度海区，中纬度地区的叶绿素含量有别于高低纬区域等。

而海洋光合植物、食植性动物和食肉性动物逐级依赖和制约，组成了海洋食物链。细菌和真菌对动植物尸体的分解，完成有机到无机的转换。不同生态系统或群落分布在不同空间区域又相互重叠。与此同时，海水物理过程导致不同流系、水团具有不同的生

物区系和不同的生物群落。

2. 海洋时间动态性的信息学分析

大洋中脊顶部发育的被断裂带错开的纵向大裂谷，地球内部的熔岩通过中央裂谷上涌，冷却后凝结成新的洋底地壳，并以每年厘米级速度向两侧扩张。然而，相对于海水和海岸等，海洋地貌或地壳是静态的。本书对海底地貌和海洋地质均以静态对象处理。

海洋空间中，任何时间任何位置上的海水都处于运动中，包括物理运动、化学反应和生物变化。物理过程包括力学、热学、声学、光学和电磁学等过程，若按其成因可分为热盐运动、风生运动、潮汐运动等。这些运动是海洋信息空间属性和时间属性变化的动力因素。

3. 海洋时空尺度性的信息学分析

海洋是一个广延的立体空间，海洋中发生的各种现象和过程极其复杂，时空尺度差别巨大，比如陆架流和大洋环流、潮与浪、风暴潮与溢油、海岸侵蚀与内波、厄尔尼诺与赤潮、全球尺度的海洋-大气相互作用和区域海洋的水汽交换等。不同时空尺度的运动则由不同时空尺度的动力产生，比如由风应力、天体引力、重力、地球自转偏向力等或其组合产生。

海洋时空尺度性体现在信息世界中则表现为海洋及其现象的时空粒度性，不同时空粒度性深刻影响海洋在信息世界中的属性多样性或多态性。

4. 海洋系统耦合性的信息学分析

海洋是一个由许多相互耦合在一起的子系统组成的特殊自然系统，是物理系统、化学系统和生物系统的耦合系统，同时是地球表面有机界与无机界相互转化的一个重要环节。作为一个复杂的自然系统，各子系统相互影响，比如海岸的塑造与陆源污染等海陆相互作用、海洋水汽交换、海水动力运动、海洋生物相互变动等都相互关联相互耦合。又比如若全球变暖导致全球的冰融化，则海平面升高约 50m，许多沿海陆地将成为海洋。而无机与有机物间的物质能量转换使海洋生态系的生产率远高于陆地生态系。

海洋的系统耦合性体现在信息世界中则表现为海洋及其现象的关联性，海洋及其现象或与其他系统的关联性决定了海洋在信息世界中的属性的关联性。

5. 海洋属性多样性的信息学分析

海水总体积 $13.7 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，水占 96.5%，各类溶解盐占 3.5%。海水具有水的理化特性，如极大的比热容、介电常数和溶解能力，极小的黏滞性和压缩性。而由于不同的溶解盐的存在，导致其理化特性的多样性或特征参数的变化。进而由理化环境的不同，导致其包含生物环境参数的不同，比如，海水中可能存在 16 万~20 万种海洋动物中的若干，或 1 万多种植物中的若干。

海洋属性多样性体现在信息世界中则表现为对象描述元素的不同，考虑因时空尺度性和系统耦合性影响，则在信息世界中还必须考虑属性的私有、继承、关联和多

态特性。

1.1.2 海洋科学空间信息学分析

海洋科学是研究发生在海洋系统中各种对象、现象和过程的性质及其变化规律的知识体系和获取体系。这些对象、现象和过程包括海水、溶解和悬浮于海水中的物质、生活于海洋中的生物、海底沉积和海底岩石圈、河口海岸带以及相互间的关系或交换等。

现代海洋科学由一系列的分支学科构成。属于基础科学的分支学科包括物理海洋学、化学海洋学、生物海洋学、海洋地质学、环境海洋学以及区域海洋学等；属于应用与技术研究的分支学科包括卫星海洋学、渔场海洋学、军事海洋学、航海海洋学、海洋物理学等；属于管理和开发的分支学科包括海洋资源、海洋法学、海洋污染治理与保护等（冯士筭等，1999）。

1. 海洋研究方法的空间信息学分析

海洋科学通过数理方程、海洋调查或模拟实验进行理论探索，又通过新的数理方程、海洋调查或模拟实验进行验证或求证，由此不断深化对海洋的认识。由于海洋地理信息系统是以海洋空间信息为研究处理对象的学科，因此海洋地理信息系统中的海洋科学一般指其知识或信息与空间位置密切相关的海洋科学。

海洋调查数据无疑是与时空相连的，而地理信息系统无疑是处理这些数据的天然平台，通过 GIS 刻画出海洋的各种基础特征，记录的是海洋的实际变动情况，调查结果通过理论探索，升华到理论高度；或提出假设，根据调查数据对理论进行修订、完善并验证，则在理论层面揭示了海洋固有的变化规律。此外，通过调查数据及其 GIS 展现，发现存在的问题，提出问题并最终解决问题，由此从数据上升到概念或理论，这样基于 GIS 的归纳过程将是海洋研究中较为便利的手段。同时，由于海洋数据的获取非常困难，代价昂贵，由此，海洋理论结合 GIS，可以更有效地组织和指导海洋调查。

2. 海洋调查数据的空间信息学分析

海洋调查数据包括海洋要素、生物和非生物测量参数，一些样品则需实验室测定。海洋要素包括水温、盐度、流速和流向、波高和周期、潮位和潮时、海面高度等；测量参数如水深、各种气象参数、海冰参数以及各种生物参数等。这些要素在海洋的三维或二维空间上客观存在，构成三维或二维海洋要素场。遥感数据及其反演或同化数据，在大面分布上可以是场分布的，不管栅格规则或不规则；而现场调查数据，在大面分布上通常是离散的点状分布。

海洋调查数据，首先面临着存储的问题。存储首先要考虑数据组织的问题，即如何将各种调查数据进行科学有序地整理，以利于查询检索和提取分析，这对高效实现管理、分析和可视化具有很重要的作用。一直以来，很多海洋学、地理信息系统工作者在科学实践中，利用各种各样的海洋调查数据建立了各式各样的海岸带和海洋地理信息系统，取得了许多宝贵经验。如加拿大 Keller 等的潮流和风建模（Keller et al., 1991）；

英国 Robinson 的数字海洋图集 (Robinson, 1991), New York Bight 水质质量监控 (Hansen et al., 1991); 美国西海岸专属经济区数据的处理 (Langran and Kall, 1991); Scandinavia 的污染排放和扩散 (Dimmestol and Lucas, 1992); 墨西哥湾的石油调查 (MacDonald et al., 1992); 中国科学院地理科学与资源研究所的海洋渔业 GIS 研究 (苏奋振等, 2001)、海岸带 GIS 系统研发 (苏奋振等, 2004) 等。

3. 海洋理论的空间信息学分析

海洋研究中的理论有很多的具体表现, 难以进行分类和概括, 因此在海洋地理信息系统中也无法统一实现。但这些理论所研究的对象却可以进行空间信息学抽象, 例如水团、锋面、海浪、潮汐、海流、生态、污染和赤潮以及全球变化诸多过程等, 海洋理论所进行的工作主要是围绕这些对象进行的, 例如水团划分、锋面测定、海浪谱建立、浅海分潮的划分和测定、海流的各种计算和划分、生物区系、污染评价和生态评估等。这些海洋研究对象, 即海洋现象的各种发生、发展和变化情况, 可以用来代表海洋理论研究的成果, 海洋地理信息系统除了能够对海洋调查数据进行有效存储、管理、分析和可视化以外, 还应能够完成对海洋现象的存储、管理、分析和可视化工作。

对于海洋现象, 同样也存在着与海洋现象相关的调查数据的组织问题, 但更重要的是海洋现象的表达问题。著名地理信息系统学者 Goodchild 等 (1999) 曾经提出, 阻碍海岸带和海洋地理信息系统发展的是“基本表达问题”。对于目前的海洋研究状况来说, 即使调查数据经过再严格的质量审查和科学评价, 只有调查数据的罗列和累积还是远远不够的, 能够更确切表达海洋的, 还有海洋现象。只有实现了海洋现象的表达, 才能够真正实现海洋地理信息系统的进步, 从而为海洋科学的发展提供强有力的技术工具。

1.2 海洋观测与海洋数据分析

无论是海洋研究, 还是海洋开发与管理, 均需要获得数据和分析数据, 以支持理论和实践。本节将从空间信息学角度, 对海洋数据的获取途径、特点以及主要的分析方法展开论述, 以便后面章节中有效地处理计算机系统里的海洋数据和信息世界中的海洋。海洋数据的获取主要是观测和推演两种方式。观测包括现场和遥感两种。推演主要是模式模拟和同化两种。推演依赖于观测数据和推演方法。

1.2.1 海洋观测与监测

海洋研究的目的在于认识海洋及内部物质或与外部的关系, 从而为人们开发利用海洋服务。在此过程中, 海洋观测与监测的目的在于获得海洋内部或外部及其界面参数, 从而把握海洋的客观存在及其运动规律。当前海洋观测具有观测方式立体化、观测要素综合化、观测组织国际化的特点。立体化指航天、航空、岸上、海面、水中和海底多个观测平台组成的观测体系; 综合化指多学科观测在一个观测事件中实现, 获得多学科的相关或不相关的资料; 组织国际化指观测的实施往往通过国际组织或国际组织的联合

实现。

1. 现场观测数据获取

海洋现场观测的主要技术设施包括专门设计的海洋调查船、盐度(电导)-温度-深度仪(CTD)、声学多普勒流速剖面仪(ADCP)、锚泊海洋浮标、地层剖面仪、旁侧声呐、潜水器、水下实验室、水下机器人和海底深钻等。

过去传统的单船观测已发展为以调查船为主体,点面结合的,由调查船、浮标、气球、飞机、卫星等组成的立体观测系统。所用仪器除了简单的颠倒温度计外,基本上都具有XBT, STD, CTD, STD/SV(温、盐、深、声测量系统)和测温链等新型仪器,可以自动记录温盐声的垂直分布和断面分布图。浮标用于海洋要素时间序列变化观测,分海面浮标和水下潜标,分别装有风向风速、气温自记仪,以及取样间隔很密的海流计、测波仪、水温和电导率记录仪(如安得拉海流计)等。

事实上,使用先进的研究调查船、测试仪器和技术设施所进行的直接观测,极大地推动了海洋科学的发展,特别是20世纪60年代以来,几乎所有的重大海洋科学进展都与此密切相关。

尽管人们试图进行长期的直接观测,开展了大量区域性的科学考察,具有计划的周密性和系统的完整性,形成了许多系统的或多层次的数据,但由于现场观测艰苦危险,且耗资费时,同时相对于海洋的浩瀚和实时动态性,这些观测仍属于局部和片断。据因此而直接研究海洋现象过程与动态,显然仍是远远不够的(冯士筭等,1999)。

2. 卫星遥感或航空遥感

卫星或航空海洋遥感是物理学、信息学和海洋学等学科交叉的产物,其理论基础为电磁波与海洋、大气的相互作用以及海洋/大气辐射传输。卫星或航空海洋遥感涉及的电磁波范围包括可见光、红外和微波。可见光遥感利用太阳光源,红外遥感利用海面热辐射,微波遥感分为海面微波辐射被动源和星载微波遥感主动源。卫星或航空海洋遥感目前使用的传感器主要有:水色传感器、红外传感器、微波高度计、微波散射计、合成孔径雷达和微波辐射计等。

利用红外传感器所测定的海表温度,可以用于计算暖池的变动、研究厄尔尼诺现象、刻画黑潮和湾流的特征、捕捉赤道海域 Kelvin 波和 Rossby 波的传播过程、捕获中尺度涡旋和上升流锋面等及其变化。小尺度海洋动力特征方面,可以用于研究涡动的精细结构。海气相互作用方面,可以结合其他数据研究全球气候变化,计算海洋热收支及 CO_2 气体交换系数等。

微波传感器主要用于探测海洋动力参数。如通过高度计可以实现对海平面高度、有效波高、后向散射的测量;可同时获取浪、流、潮、海面风速等重要动力参数;可通过计算涡旋动能来确定其位置并衡量其强度;可为海浪数值预报模式提供初始场,进而改进和检验模式;可利用有效波高数据进行全球或区域的浪场特征分析;可通过后向散射截面与海面风速之间的模式函数获得风场数据。

海洋遥感为海洋现象的研究提供了一个崭新的数据集。这个数据集覆盖了许多海洋

环境参数和信息。与传统的船舶、浮标数据相比,大面积、同步、连续测量是海洋遥感观测手段的重要优点。相对于海洋直接观测而言,遥感数据成本相对低廉。然而其缺点也是非常明显的。如主要进行海表面观测,可见光遥感仅能够深入几十米;各种传感器存在先天的缺陷,例如红外遥感和海色遥感存在空间同步覆盖问题,而微波高度计得到的实际上是非同步的离散点数据。因此,海洋观测必然是现场观测和卫星遥感同步发展,相互验证和补充。

1.2.2 数值模拟与同化

尽管现在海洋监测数据很多,但具体到某一海区,数据则是“稀少”的,即很难提供一幅完整的海洋现象特征视图。虽然观测数据是海洋真实状态的抽样,是海洋复杂运动的真实反映,并且数据在局部时间和空间上提供的信息都很详细,但只限于特定调查区域范围;卫星图像虽然是同步覆盖,提供大量的多时相、多平台信息,能够反演各种海洋环境参数,但是只提供表层信息,因此数值模拟、同化和融合成为获取更完全、更连续数据的重要手段。

1. 数值模拟

如果用机理性的数理方程组来表达海洋及其中变化,往往很难得到解析解,于是,数值求解成为普遍选择。随着现代数值技术和计算机技术的迅速发展,诸如美国普林斯顿大学的POM模式等复杂、精确、高效的数值模式相继诞生。利用这些数值模式,可以逼近现实海洋运动,经实测数据验证,形成新认识,或为进一步的海洋研究提供数据。

观测数据经理论模型或模拟模型,进而输出在时间、空间和要素三方面更多或更完全的数据,这是模拟的优点。缺点是由于描写海洋的控制方程不能精确地反映海洋的复杂运动,适合近似反映海洋在较大尺度上的总体运动特性或其中部分运动特性。

导出数据在 x, y, z, t 四维上连续,但时空分辨率较粗,误差较大,往往是“概况”视图,不反映具体细节,对于无法获取其他数据时,可作为输入。

2. 数据同化

数据同化(data assimilation)是根据一定的数学模式和优化标准,将不同空间、不同时间、采用不同手段获得的观测资料有机结合,建立相互协调的分析或预报优化系统,确定那些不能直接观测的量,以及没有观测到的地方的相关信息,同时模式本身也可以得到优化(韩桂军等,1999)。海洋数据的同化方法较多,目前尚未有较体系的框架,主要有顺序同化法、四维最优插值同化法、变分同化法、滤波算法同化法、最大条件概率同化法、广义解同化法、伴随方程同化法和平滑样图同化法等。

利用数值模式为海洋研究提供数据,同化方法成为提高其数据可用性的重要手段,即利用相应的实测或遥感数据,在计算过程中进行有效的干预,使得数值方法可靠性进一步提高,导出数据具有更高的可信度。尽管如此,在进行中小尺度的研究时,在较高