

Doi: 10.11840/j.issn.1001-6392.2020.01.003

海洋水文气象多时空尺度资料来源分析

李帅^{1,2}, 郭俊如^{1,2}, 姜晓轶³, 白志鹏⁴, 宋军^{1,2}, 王漪³

(1. 大连海洋大学 海洋科技与环境学院, 辽宁 大连 116023; 2. 大连海洋大学 应用海洋学研究所, 辽宁 大连 116023; 3. 国家海洋信息中心, 天津 300171; 4. 中国人民解放军 61741 部队, 北京 100094)

摘 要: 目前, 海洋数据获取量日益增多, 根据时空分辨率、时空范围、垂向分层情况等的不同, 可将海洋数据分为多种类型。了解和掌握现有的海洋数据资料, 并加以利用, 对国家经济发展、国防安全、军事活动等具有重要意义。经过长时间的研究和积累, 本文总结了国内外海洋数据资料发布的几个主要数据源, 同时归纳了几类常用的海洋数据资料, 包括地形水深数据、卫星遥感数据、海洋调查观测数据、再分析产品数据, 并对各类数据适用的时间尺度、空间尺度进行分析, 旨在为海洋领域的科研工作者提供信息支持, 为我国海洋大数据的建设提供参考。

关键词: 海洋数据; 数据源; 地形数据; 卫星遥感数据; 再分析数据

中图分类号: P413 文献标识码: A 文章编号: 1001-6932(2020)01-0024-16

Sources and analysis of multi-temporal-spatial scale marine hydrometeorology data

LI Shuai^{1,2}, GUO Jun-ru^{1,2}, JIANG Xiao-yi³, BAI Zhi-peng⁴, SONG Jun^{1,2}, WANG Yi³

(1. Dalian Ocean University, Dalian 116023, China; 2. Dalian Ocean University, Operational Oceanographic Institution, Dalian 116023, China; 3. National Marine Data and Information Service, Tianjin 300171, China; 4. Troop 61741, PLA, Beijing 100094, China)

Abstract: The amount of ocean data acquisition is increasing day by day. According to the differences in temporal-spatial resolution, space-time range, vertical layers, ocean data can be classified into various types. The understanding and effective application of existing ocean data are of great importance to economic development, national security, military activities, etc. Several major data sources of marine data released at home and abroad are summarized in this study. Several kinds of common ocean data are classified, including terrain depth data, satellite remote sensing data, ocean survey observation data, and reanalysis data. The temporal-spatial scale applicable to various types of data is analyzed. It aims to offer information support for scientific researchers in the marine field and provide reference for the construction of China's marine big data.

Keywords: ocean data; data source; topographic data; satellite remote sensing data; reanalysis data

海洋是人类赖以生存环境的一部分, 由于其蕴藏着丰富的生物资源、矿产资源、战略资源以及强大的能量, 对海洋的认识、开发和利用已越来越受到国内外的重视。海洋基础数据的获取、处理、分

析是海洋研究的首要工作(杨翼等, 2014)。随着海洋调查监测技术的发展, 各式各样的海洋观测仪器、设备和科考船相继问世, 从最初的单要素观测、单船观测, 到现在的多种海洋要素同步观测、

收稿日期: 2019-05-17; 修订日期: 2019-08-14

基金项目: 辽宁省“兴辽英才计划”项目(XLYC1807161); 大连市高层次人才创新支持计划(2017RQ063); 大连海洋大学“湛蓝学者工程”; 国家自然科学基金(41206013; 41430963); 空间海洋遥感与应用研究重点实验室开放基金重点课题(201601003); 国家科技支撑计划(2014BAB12B02); 国家建设高水平大学公派研究生项目(留金出[2008]3019; [2012]2013); 辽宁省高等学校海洋产业技术研究院项目; 海洋公益性行业科研专项(201205018)。

作者简介: 李帅(1995-), 硕士研究生。主要从事物理海洋学方面的研究。电子邮箱: 892840143@qq.com。

通讯作者: 郭俊如, 博士, 助理研究员。电子邮箱: 447907545@qq.com。

多种方式结合观测 (宋转玲 等, 2013), 观测方式和方法不断完善。经过长时间的海洋数据积累, 海洋数据获取量日益增多, 尤其以卫星遥感数据为代表的海洋数据规模呈飞跃式增长 (侯雪燕 等, 2017)。国内外的许多数据中心将获取的大量海洋科学数据资料制作成多种数据集, 其中部分资料可免费下载。由于海洋数据的获取方式不同, 海洋数据分类和处理有所差异。

在海洋大数据时代背景下, 国内外相继建立了各自的海洋数据中心, 提供了不同类别的海洋实时数据、海洋分析预报产品、数值模式产品等数据资料 (邢文明, 2014)。随着海洋数据的开放与共享, 人们对海洋的认识不断增强, 对海洋信息服务的需求日益增长 (李潇 等, 2016)。然而, 面对如此庞大数量的海洋数据, 只有将海洋数据进行有效分类、充分利用和价值挖掘, 才能为海洋环境预报、海洋防灾减灾、海上作业安全提供高质量的信息服务和决策支持, 因此需要清楚地了解目前常用的海洋数据资料及其特点 (于婷 等, 2013)。本文通过介绍目前常用的海洋数据资料以及各个数据集的基本情况, 使广大海洋科研工作者对现存的海洋数据情况有更进一步的了解, 并能快速找到所需的数据资料。

1 国内外主要海洋数据来源

目前国外海洋科学数据主要来源包括美国国家海洋大气管理局 (NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration)、欧洲太空局 (ESA, European Space Agency)、日本气象厅 (JMA, Japan Meteorological Agency) 以及美国夏威夷大学亚洲-太平洋数据研究中心 (APDRC, Asia-Pacific Data-Research Center) 等。国内海洋科学数据的主要数据源有国家海洋信息中心、中国科学院海洋研究所、国家卫星海洋应用中心、中国极地研究中心、青岛海洋科学与技术试点国家实验室、自然资源部各海洋研究所、大连海洋大学以及中国海洋大学海洋数据中心等。下面分别简单介绍几个国内外主要数据源。

1.1 国外主要的海洋数据源

1.1.1 美国国家海洋大气管理局 (NOAA)

NOAA 是隶属于美国商务部的科技部门, 主要

研究全球大气和海洋变化, 为相关部门提供对灾害天气的预警以及海图和空图, 利用和保护海洋和沿海资源, 使人们对生活环境变化情况有更清楚的了解。其主要服务内容包括日常的天气预报、风暴预报、气候监测、渔业管理、沿海恢复和海洋贸易支持等。NOAA 旗下有多个机构, 包括: 国家环境信息中心 (NCEI, National Centers for Environmental Information)、国家环境预报中心 (NCEP, National Centers for Environmental Prediction)、国家大气研究中心 (NCAR, National Center for Atmospheric Research) 以及地球系统研究实验室 (ESRL, Earth System Research Laboratory) 等。各个机构提供不同类型的海洋数据服务。NOAA 网上发布的数据大部分是卫星遥感数据, 由于卫星上搭载的传感器不同, 以及探测区域不同, 数据资料在分辨率和时空范围上有所差异。常用的 NOAA 数据有 NCEP/NCAR 全球再分析数据, ENVISAT 卫星观测数据, TOPEX/Poseidon 卫星数据和 GEOSAT 卫星数据等。

1.1.2 欧洲太空局 (ESA)

ESA 是欧洲国家组织和协调空间科学技术活动的机构, 目前拥有 22 个成员国, 该国际组织通过统筹协调成员的人力和财力资源, 进行欧洲国家范围内的计划和活动。欧空局通过制定和实施欧洲太空计划, 了解地球和太空环境, 发展基于卫星的技术和服务, 促进欧洲工业的发展。欧空局发射了许多载有多种传感器的卫星, 常用的数据大部分是卫星数据, 其中包括 ERS-1、ERS-2 卫星数据。

1.1.3 日本气象厅 (JMA)

JMA 专门负责日本的气象观测、地震、火山及海啸灾害等监测工作。其基本业务是提供每天的气象信息、地震、海啸和火山活动等自然灾害信息。主要发布短期、一周和长期天气预报以及台风、暴风雪的警报和咨询等。发布的数据资料包括气象、地球环境与气候、海洋、地震等要素。其中 JMA 高分辨率日平均海表温度格点分析数据 (COBE-SST) 是常用的数据之一。相关部门利用获取的自然灾害信息, 可及时采取灾害预防和避难等对应措施, 保护人民的生命与安全。

1.1.4 其他

除上述所提到的国外海洋科学数据源, 国外主要海洋数据源还包括美国亚太数据研究中心

(APDRC)、韩国气象局 (KMA, Korean Meteorological Administration)、法国海洋开发研究所 (IFREMER, French Research Institute for the Exploration of the Sea)、加拿大贝德福德海洋研究所 (BIO, Bedford Institute of Oceanography) 以及印度地球科学部 (MoES—Ministry of Earth Sciences) 等。

1.2 国内主要的海洋数据源

1.2.1 自然资源部

自然资源部组建于 2018 年 3 月, 不再保留国土资源部、国家海洋局、国家测绘地理信息局。主要任务是对自然资源的开发利用和保护进行监管, 建立空间规划体系并实施, 履行全民所有各类自然资源资产所有者职责, 统一调查和确认登记, 建立自然资源有偿使用制度, 负责测绘和地质勘查行业管理等工作。该部为用户提供多种数据服务, 包括土地、矿产、海洋、测绘、地质和科技 6 个领域的的数据信息, 其中海洋领域涉及的数据有中国海洋预报、国家海洋局公报、国家海洋局公告、中国海洋环境质量公报以及中国海洋灾害公报。

1.2.2 中国科学院

中国科学院成立于 1949 年 11 月, 为中国自然科学最高学术机构、科学技术最高咨询机构、自然科学与高技术综合研究发展中心。截至目前, 全院共拥有 12 个分院、100 多家科研院所、2 所直属高校、1 所共建高校、130 多个国家重点实验室和工程中心以及 210 多个野外观测台站等, 组织机构数量庞大, 获取的数据资料也非常之多。以中国科学院海洋研究所为主, 收集了多源海洋不同时空尺度的数据资料, 并研制出标准化产品, 部分数据发布到网上供广大用户下载使用。

1.2.3 中国气象局

中国气象局是中华人民共和国国务院直属事业单位, 主要承担全国气象工作的政府行政管理职能, 负责全国气象工作的组织管理。中国气象局拥有中国气象科学研究院、中国气象局广州热带海洋气象研究所等 9 个国家级研究所以及国家气象中心、国家卫星气象中心等 9 个研究中心, 全国现有 2424 个气象观测站。目前我国已初步形成相对完备的现代化大气综合观测系统, 基本组成了由天气预报、气候预测、气候资源开发与利用等构成的气象服务体系, 服务领域涉及农业、渔业、交通、海

洋等多个行业 and 部门。因此, 该部门具有大量的气象观测资料, 部分数据发布在中国气象数据网站上, 可供用户下载。

1.2.4 国家海洋信息中心

国家海洋信息中心隶属于自然资源部, 主要职能是管理国家海洋信息资源, 指导、协调全国海洋信息化业务工作, 为海洋经济、海洋管理、公益服务和海洋安全提供海洋信息的业务保障、技术支撑与服务。以国家海洋信息中心为主, 中国科学院海洋研究所、大连海洋大学等分中心建设运营的国家海洋科学数据中心, 致力于资源整合, 数据共享, 技术服务等工作, 以将中心建成为国内海洋领域信息资源最丰富、服务范围最广、实用性最强的海洋科学数据中心为目标, 结合目前互联网技术的快速发展, 不断推动海洋大数据服务共享的进程。该中心可为用户提供实测数据服务、分析预报数据服务、专题信息产品服务、潮汐潮流预报服务和地图服务。网上已发布了不同类型不同海洋气象要素的数据集, 大部分可免费下载。此外, 国家海洋信息中心于 2002 年成立了中国 Argo 资料中心, 负责国内和全球 Argo 浮标资料的搜集、处理、管理、分发与共享服务, 并长期业务化运行。

1.2.5 国家卫星海洋应用中心

国家卫星海洋应用中心是自然资源部直属的财政补助事业单位, 主要职能是负责我国海洋卫星系列发展和卫星海洋应用工作, 为海洋经济、海洋管理、公益服务及海洋安全提供保障和服务。目前我国已发射用来观测海洋的卫星有海洋水色环境卫星 (海洋一号, HY-1)、海洋动力环境卫星 (海洋二号, HY-2)、高分三号卫星 (GF-3) 以及近期发射的中法海洋卫星 (CFOSAT), 用于获取我国近海和全球海洋水色水温及海岸带动态变化信息, 全天时、全天候获取海面风场、海面高度、有效波高与海面温度等海洋环境信息, 以及全球大洋表风、浪面积、土壤水分、粗糙度和极地冰盖相关数据, 具有高精度及同步观测优点。未来将发射海洋雷达卫星 (海洋三号, HY-3), 用于监视海岛、海岸带、海上目标、海上溢油、海冰、内波等信息。这些卫星获取的数据产品可为全球气候变化研究提供基础信息, 为国家的海洋防灾减灾、气候变化提供重要的数据支持。

1.2.6 自然资源部第二海洋研究所-中国 Argo 实时资料中心

自然资源部第二海洋研究所隶属于自然资源部，是一所综合性公益性海洋研究机构，并且建有自然资源部系统内唯一一个国家重点实验室（卫星海洋动力学国家重点实验室）。主要从事中国海、大洋和极地海洋科学研究，海洋环境与资源探测、勘探的高新技术开发与应用。由自然资源部第二海洋研究所建设运营的中国 Argo 实时资料中心网，在网站上更新发布 Argo 浮标数据。中国 Argo 计划自 2002 年初组织实施以来，已经在太平洋、印度洋等海域投放了 427 个 Argo 剖面浮标，目前有 98 个浮标仍在海上正常工作。全球 Argo 实时海洋观测网已累积获取超过 200 万条温盐度剖面资料。中国 Argo 实时资料中心是中国 Argo 资料中心的一个重要组成部分，承担中国 Argo 浮标的布放、实时资料的接收和处理、资料质量控制技术方法与开发，以及快速向项目承担单位和相关部门提供 Argo 资料，及时反映我国科学家在 Argo 资料应用研究方面所取得的成果等工作。网站提供的服务有实时资料、数据产品等。实时资料数据内容包括核心 Argo 数据和 BGC-Argo 数据，按数据质量控制方式又可分为实时剖面数据和延时剖面数据，此外还包括 9 种数据产品。

1.2.7 自然资源部第一海洋研究所

自然资源部第一海洋研究所隶属于自然资源部，是从事基础研究、应用基础研究和公益服务的综合性海洋研究所。主要研究领域为中国近海、大洋和极地海域自然环境要素分布及变化规律。“白龙”浮标由自然资源部第一海洋研究所自主集成研发，是国内首套 7 000 m 级深海气候观测系统，主要布放在季风爆发的关键海区，并将观测数据同步上传到电信系统，与世界各大业务预报中心共享。该浮标不仅可观测海表温度、气压、风速风向、相对湿度等参量，还可以通过感应耦合传输技术实时采集海洋表层至深层的海水温度、盐度、海流、溶解氧等重要海洋参数。获取的现场观测资料对于认识海洋动力环境和大气环流特征、掌握海气相互作用规律、提高海洋数值模式模拟能力等具有重大意义。

1.2.8 中国科学院海洋研究所

中国科学院海洋研究所是新中国第一个专门从

事海洋科学研究的机构，是我国海洋科学的发源地。目前仍是我国规模最大、综合实力最强的海洋研究机构之一。由该所建设和管理的海洋科学大数据中心提供了不同类别的数据库，其中包括专题分类数据库、学科分类数据库和 WebGis 数据库。而每个数据库又可分为不同种类的数据，其中专题数据库又有海洋专项数据库、中国近海观测研究网络数据库、开放航次数据库以及国际共享资料数据库等分类；学科领域分为海洋化学、海洋地质、海洋生物以及物理海洋。海洋科学大数据中心网站提供的海洋科学数据类型涉及常规观测资料（如浮标资料、潜标资料、CTD 资料以及航次观测资料等）和遥感资料。科研人员可根据自己的需要申请下载数据。

1.2.9 中国极地研究中心

中国极地研究中心前身为中国极地研究所，是我国唯一专门从事极地科考的科研机构和保障业务中心。中国极地研究中心建设运营了中国南北极数据中心网站（前身为中国极地科学数据库系统），2003 年该系统加入了“国家地球系统科学数据共享网”，随后又完成建设了极地区域海洋共享运行服务中心平台（简称极地区域中心）。极地区域中心提供大量海洋科学数据资料，其中包括极地海洋学、极地资源与环境科学、极地地质与地球物理学以及极地大气科学等学科开展的科学观测长时间序列、多参数的常规观测数据和样品分析数据。数据资源涉及的区域有南极冰盖最高点 Dome A 区域、南极中山站区、北冰洋白令海以及加拿大海盆等。极地区域中心网站发布的数据资源全部免费共享，为广大科研工作者获取所需数据提供了便利。

1.2.10 青岛海洋科学与技术试点国家实验室

青岛海洋科学与技术试点国家实验室（简称“海洋试点国家实验室”）是由科技部、山东省、青岛市共同建设，围绕国家海洋发展战略，充分调动中央各部门及地方的积极性，整合全国海洋科技资源，建成协同创新的科研体系，开展重大科技任务攻关。实验室设有公共平台服务，面向国内外开放共享，包括 6 个不同方向的平台：（1）高性能科学计算与系统仿真平台；（2）深远海科学考察船共享平台；（3）海洋创新药物筛选与评价平台；（4）海洋同位素与地质年代测试平台；（5）海洋高端仪器设备研发平台；（6）海洋分子生物技术

公共平台。该平台的建设运行对我国海洋科技的快速发展具有重要意义。海洋国家实验室于2016年在学术年会上正式启用海洋数据共享平台。

1.2.11 国家气象信息中心

国家气象信息中心是中国气象局直属事业单位,承担全球观测基础数据和气象产品的收集分发、气象数据加工处理与归档管理、气象数据产品研发与服务、高性能计算资源调度与并行计算技术支持、参与世界气象组织数据交换等任务职责。该中心建设了中国气象数据科学数据共享中心(中国气象数据网),中国气象数据网服务模式分为在线数据服务和离线数据服务两种,发布的数据资料有地面气象资料、高空气象资料、卫星探测资料、天气雷达资料、海洋资料以及数值预报产品资料等,均可免费下载。

1.2.12 大连海洋大学

大连海洋大学负责国家海洋科学数据中心大连分中心的建设与运营,该分中心于2018年揭牌成立,定位为“国家海洋科学数据中心”在东北亚大

区的服务中心。分中心结合大连海洋大学在海洋生物学、海洋环境科学、应用海洋学、海洋信息科学以及海洋大数据等方面的区域海洋学资料积累及专业优势,旨在建立面向社会公众、科研人员、领域企业等不同服务对象的北方海洋科学数据共享门户;针对平台用户的不同需要,分中心可以提供海洋专业领域不同分类、不同形式的信息服务;并为平台用户提供特定的数据分享通道与审批机制。目前,大连海洋大学数据平台已初步设立了共享门户网站,并针对数值产品、海洋生物、水文气象、海洋化学、海洋遥感、海洋物理、海洋地质、社科经济、基础地理以及海洋知识等10个类别,分别构建了共享数据库系统和部分基于先进数据可视化技术的在线地图服务系统,该网站已成为国内海洋科学数据的主要检索与下载渠道之一。

1.2.13 其他

除上述提到的国内主要数据源外,中国科学院南海海洋研究所、香港天文台、台湾气象局等也都提供了不同类型的海洋科学数据。

表1 国内外主要数据源及其网址

国外数据源/数据名称	网址	国内数据源/数据名称	网址
美国国家海洋大气管理局	http://www.noaa.gov/	自然资源部	http://www.mnr.gov.cn/
欧洲太空局	http://www.esa.int/ESA	中国科学院	http://www.cas.cn/
日本气象厅	http://www.jma.go.jp/jma/index.html	中国气象局	http://www.cma.gov.cn/
韩国气象局	http://www.kma.go.kr/	国家海洋信息中心	http://www.nmdis.org.cn/
法国海洋开发研究所	https://www.ifremer.fr/	国家卫星海洋应用中心	http://www.nsoas.org.cn/
加拿大贝德福德海洋研究所	http://www.bio.gc.ca/	自然资源部第一海洋研究所	http://www.fio.org.cn/
印度地球科学部	https://moes.gov.in/	自然资源部第二海洋研究所	http://www.sio.org.cn/
南安普顿英国国家海洋学中心	http://noc.ac.uk/	自然资源部第三海洋研究所	http://www.tio.org.cn/
德国亥姆霍兹极地海洋研究中心	https://www.helmholtz.de/	中国科学院海洋研究所	http://www.qdio.cas.cn/
澳大利亚海洋科学研究所	https://www.aims.gov.au/	中国极地研究中心	http://www.pric.org.cn/
俄罗斯希尔绍夫海洋研究所	https://ocean.ru/en/	青岛海洋科学与技术试点国家实验室	http://www.qnlm.ac/
日本海洋科学技术中心	http://www.jamstec.go.jp/	国家气象信息中心	https://www.nmic.cn/
美国伍兹霍尔海洋研究所	https://www.whoi.edu/	大连海洋大学海洋数据中心	http://odc.dlou.edu.cn/
美国ETOPO地形水深数据	https://www.ngdc.noaa.gov/mgg/global/global.html	中国海洋大学海洋数据中心	http://coadc.ouc.edu.cn/
全球海陆数据库	https://www.gebco.net/	中国科学院南海海洋所	http://www.scsio.cas.cn/
美国宇航局中分辨率成像光谱仪网	http://modis.gsfc.nasa.gov/data/	国家气象信息中心	http://www.nmic.cn/
海洋大气综合数据集	https://icoads.noaa.gov/	香港天文台	https://www.hko.gov.hk/
NCEP/NCAR再分析资料	https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep.reanalysis.html	台湾气象局	https://www.cwb.gov.tw/
GFS风场数据	https://www.ncdc.noaa.gov/dataaccess/model-data/model-datasets/global-forecast-system-gfs	国家海洋科学数据中心	http://mds.nmdis.org.cn/

(待续)

续表

国外数据源/数据名称	网址	国内数据源/数据名称	网址
美国 HYCOM 海洋-大气预报研究中心	https://www.hycom.org/	中国 Argo 资料中心	http://www.esi.so/argo130423/index.php
欧洲中期天气预报中心	https://www.ecmwf.int/	海洋科学大数据中心	http://msdc.qdio.ac.cn/
AVISO 卫星高度计资料	https://www.aviso.altimetry.fr/en/home.html	极地区域海洋共享运行服务中心平台	http://ocean.chinare.org.cn/
PSY4V3 再分析数据	http://bulletin.mercator-ocean.fr/	中国 Argo 实时资料中心	http://www.argo.org.cn/
美国夏威夷大学亚洲-太平洋数据研究中心	http://apdrc.soest.hawaii.edu/	卫星海洋动力学国家重点实验室	http://www.qnlm.ac/
		中国科学院微波遥感技术重点实验室	http://www.mirslab.cn/
		高分应用综合信息服务共享平台	http://gfplatform.cnsa.gov.cn/
		TOGA-COARE 观测数据	https://www.eol.ucar.edu/field_projects/toga-coare
		WOCE 世界大洋环流实验数据	https://www.nodc.noaa.gov/woce/
		世界海洋数据库和世界海洋地图集	https://www.nodc.noaa.gov/OC5/indprod.html
		中国海洋再分析中心	http://cora.nmdis.org.cn/
		FIOCOM 海洋再分析数据	http://fiocom.fio.org.cn/
		青岛海洋科学资料共享服务中心	http://www.nsfocdc.cn/
		中国大洋资料中心	http://comrdc.nmdis.org.cn/
		中国气象数据网	http://data.cma.cn/

2 数据类型

海洋数据没有固定的分类标准 (蔡秀芳, 2011), 可以按照数据类型、数据来源、海洋要素、数据时空分布情况等分类方式进行分类 (朱星明等, 2008)。本文将海洋科学数据分类为基础地理数据、卫星遥感数据、海洋调查观测数据、海洋再分析数据进行研究。

2.1 基础地理数据

基础地理数据主要指地形水深数据 (侯京明等, 2012)。由于研究海洋科学的科学家们常利用地形水深数据进行数值模拟分析, 因此, 本文简单介绍几类常用的地形数据, 包括美国国家海洋大气局 (NOAA) 所提供的 ETOPO 地形水深数据, 全球海陆地形数据库 (GEBCO, General Bathymetric Chart of the Oceans), “中国海标准经纬度水深和基准面数据表” 格点化水深资料。

2.1.1 美国地形水深数据

ETOP 数据是由美国国家地球物理中心发布的地形数据集 (NGDC, National Geophysical Data Center), 现有 5'、2'、1' 三种不同空间分辨率的数据集。ETOPO5 地形数据来源于多个国家和不同地

区提供的数据库, 并于 1988 年由 Margo Edwards 组合成一套完整的数据集, 数据单位为 m, 水平分辨率为 5'×5', 其主要部分包括 WDB (世界数据库 II)、全球范围内的海拔水深 5' 网格数据、美国附近 48 个地区其分辨率为 30' 的海拔和沿岸水深数据。ETOPO2 数据的纬度范围从 90°N 至 89°58'S, 经度范围从 180°W 至 179°58'E。继该数据集后, 2006 年又发布了 ETOPO2v2 数据集, 相比上一版本的数据, 去除了单元格西向偏差和北极的冗余数据, 数据准确率提高。其经度范围为 180°W 至 180°E, 纬度范围为 90°S 至 90°N, 在美国附近海域地形数据分辨率可达 3"。ETOPO1 数据集整合了陆地地形和海洋水深, 在 ETOPO5 和 ETOPO2 数据基础之上又增加了冰面数据 (包括南极和格陵兰岛的冰面) 和岩基数据 (冰原底部), 因该数据覆盖更加全面, 精度更高, 更加受到科研工作者的青睐。ETOP 数据是经过网格化处理过的数据, 因此常被用于海洋数值模式的大尺度分析。

2.1.2 通用大洋水深制图数据

通用大洋水深制图 (GEBCO) 数据是由国际海道测量组织 (IHO) 和政府间海洋学会 (IOC) 联合发布的数据集, 该数据融合了多种数据集在内的世界大洋海底地形数据集, 包括全球测深网格

(海洋和陆地), 海底特征名称, 网络地图服务和绘制海洋测深地图 (李四海, 2015)。该数据目前有 1' 和 30" 两种不同分辨率格式。GEBCO-1' 网格是一种海洋和陆地的连续地形模型, 空间分辨率为 1', 网格主要基于 GEBCO 数字地图集中包含的侧身轮廓, 文件格式只有 NetCDF (Network Common Data Form) 格式, 全局网格压缩文件大小为 270 MB。GEBCO-30" 水深网格数据目前的版本是 GEBCO_2014, 空间分辨率为 30", 文件格式有 NetCDF, Esri ASCII 栅格或 INT 16 Geo Tiff 格式, 全局网格压缩文件为 1.1GB。

由林美华等 (1999) 出版的地形数据表在中国海域沿岸具有相对较高的空间分辨率, 空间分辨率大小为 5', 相对于其他地形数据而言具有一定的优势, 更适用于研究中国海域。

2.2 卫星遥感数据

随着卫星遥感技术快速发展, 各国相继发射了一系列用于观测与研究海洋、气象的卫星。相对于其他类型观测数据而言, 卫星遥感数据具有较易获取, 观测变量较多, 影像分辨率较高, 数据覆盖较广等优势 (师艳子等, 2018)。国外用于海洋观测的卫星有美国的 Seasat-A 卫星, GEOSAT 系列卫星和 TOPEX/Poseidon 系列卫星, 欧空局的 ENVISAT-1 卫星等, 国内有海洋一号、二号卫星, 风云系列卫星, 海洋资源卫星, 高分系列卫星以及中法海洋卫星等。卫星上搭载有功能不同的传感器, 以获取特定要素的海洋数据资料。常用的传感器有辐射计、散射计、卫星高度计、合成孔径雷达等。下面针对卫星中特定传感器获得数据进行举例说明。

2.2.1 辐射计数据

AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) 改进型的甚高分辨率辐射计, 是 NOAA 系列卫星中的主要探测仪器。AVHRR 传感器设有五个波段, 分别为可见光波段, 近红外波段, 中红外波段, 热红外波段, 其中, 热红外波段又分为两个波段范围, 各波段的探测目标及用途各不相同 (杨娜, 2006)。AVHRR 传感器星下点分辨率为 1.1km, 数据空间分辨率低, 数据处理相对简单, 数据量丰富, 时间分辨率高 (孙志伟, 2013)。该传感器获得的数据可以用来反演海表面温度, 叶绿素浓度, 地表植被覆盖情况等, 反演的结果分辨率高、可信度强。

例如 NOAA 提供的海表面温度数据产品 (Daily OISST), 数据下载地址: <https://www.ncdc.noaa.gov/data-access/satellite-data/satellite-data-access-datasets>。该产品利用最优插值法 (OI, Optimal Interpolation) 处理元数据, 根据数据源的不同形成了两种新的高分辨率海面温度 (SST, Sea Surface Temperature) 分析产品, 一种产品使用的数据源为 AVHRR 红外卫星遥感海表面温度数据; 另一种产品的数据源为搭载在 NASA (National Aeronautics and Space Administration) 地球观测系统卫星上的 AVHRR 和改进的微波扫描辐射计 (AMSR, Advanced Microwave Scanning Radiometer) 获得的 SST 数据, 两种分析产品的空间网分辨率为 0.25°, 时间分辨率为 1 天, 其空间范围为全球海洋, 时间范围从 1981 年到现在, 产品为日平均数据。

中分辨率成像光谱仪 (MODIS, Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), 是美国宇航局发射的 Terra 和 Aqua 卫星上的一个重要传感器, 目前应用比较广泛。MODIS 属于被动式成像分光辐射计, 包括 36 个光谱波段, 从可见光到热红外全光谱覆盖, 因此可以同时提供大气、陆地、海洋领域的全球观测数据信息。传感器的地表分辨率为 0.25~1 km, 观测频率为每 1~2 天观测地球表面一次 (钱莉等, 2011)。测量变量包括陆地温度、海表温度、叶绿素浓度、气溶胶浓度、大气温度、云层厚度等。MODIS 标准数据产品根据处理级别的不同分为 0 级、1 级、2 级、3 级及以上数据产品, 其中, 2 级以上产品应用较多。根据产品类型不同, 可分为一级数据产品、陆地标准数据产品、大气标准数据产品和海洋标准数据产品四种标准数据类型。

除以上介绍的辐射计以外, 常用的微波辐射计还有 TMI、AMSR-E、AMSR-2, 以及我国 FY-3 卫星搭载的 MWRI, HY-2 卫星搭载的 RAD 等。

2.2.2 散射计数据

欧空局于 1991 年发射了 ESA-1 卫星 (European Space Agency Remote Sensing Satellite), 用于对海洋动力基本要素进行观测。AMI Wind Mode 散射计是该卫星上一种主动式微波传感器, 工作频率为 C 波段。ESA-1 卫星扫过的宽度为 500 km, 卫星上设有前向、侧向、后向三个不同角度的单极化

天线, 能够消除部分数据解译时出现的风向模糊, 使得测量的海面雷达后向散射能量更准确(刘宇昕等, 2013)。利用此传感器数据反演的风场数据变量包括风速、风向, 数据资料的风速范围为 1~24 m/s, 误差范围为 2 m/s, 风向范围为 0°~360°全方位, 误差精度为 20°。风场数据产品是一组分布在 500 km×500 km 海域内 19×19 个点的风矢量, 其分辨率为 25 km×25 km。在一个轨道周期内, 可产生 70 个 500 km×500 km 区域的产品。

美国宇航局于 1999 年发射了 QuickSCAT 卫星 (quick scatter satellite), Sea Winds 散射计是该卫星上一个主要的传感器, 工作频率为 Ku 波段, 常用于测量海表面风场。卫星天线扫描刈幅宽为 1 800 km, 覆盖范围可达全球海洋区域的 90% 以上。其数据产品由美国宇航局喷气推进实验室物理海洋数据存档中心 (PODAAC, Physical Oceanography Data Active Archive Center) 发布、管理和维护, 标准的卫星风场数据产品, 逐日更新, 其空间分辨率为 25 km×25 km。利用卫星反演的近实时风数据, 结合大气及海洋数值预报模型, 可以提高全球大气与海洋的预报精度, 满足更多人的需求(高留喜等, 2014), 该卫星由于天线故障已于 2009 年停止运行, 卫星服役期间获取了大量的卫星遥感数据, 可供学者和研究人员进行相关领域的研究。

欧洲太空局 (ESA) 于 2006 年发射了 Metop-A 气象卫星, 卫星上载有 ASCAT (Advanced SCATterometer) 微波散射计, 该卫星传感器汲取了美国 NSCAT、QuickSCAT 和欧洲 ERS 等卫星传感器的经验, 散射计性能更加优越, 反演的海洋风场数据精度更高。ASCAT 的工作频率为 C 波段, 相对于工作频率为 Ku 波段的 Sea Winds 散射计, 其性能受降雨影响较小(张增海等, 2013)。卫星所测数据为海洋表面上 10 m 高度的风矢量数据, 目前欧洲卫星气象组织发布的 ASCAT 业务风场数据产品有三种, 分别为 25 km 和 12.5 km 分辨率的海洋风场、12.5 km 分辨率的近岸海洋风场产品, 空间范围为全球海洋。

中国于 2011 年成功发射了“海洋二号”卫星, 该卫星是中国第一颗海洋动力环境监测卫星, 可用于全天时、全天候获取我国近海和全球范围的海面风场、海面高度、有效波高与海面温度等海洋动力环境信息, 遥感载荷包括微波散射计、雷达高度计

和微波辐射计等(邹巨洪等, 2017)。其中卫星上搭载的 HSCAT 微波散射计, 主要用于全球海面风矢量观测, 风速测量范围 4~24 m/s, 风速精度为 2 m/s; 风向测量范围 0°~360°, 风向精度为 ±20°。海洋二号卫星微波散射计数据产品分为四种, 分别是 L1B 级数据产品、L2A 级数据产品、L2B 级数据产品和 L3B 级数据产品, 可为灾害性海况预警预报提供实测数据。

2.2.3 卫星高度计数据

卫星高度计通常用来测量海表面高度、有效波高、海面地形等要素数据, 可以利用卫星高度计资料分析海洋动力过程及中尺度海洋现象(宋婷婷等, 2013)。1991 年欧洲太空局发射了 ERS-1 卫星, 其星载高度计的测量精度为 3 cm。1992 年美国宇航局和法国国家空间研究中心联合发射了 TOPEX/Poseidon 卫星 (后面简称 T/P 卫星), 其搭载的高度计传感器所测得的海平面高度数据精度可达 2.4 cm, 对于平静的海面其水平分辨率可以达到 2.2 km, 标准偏差在 ±14 cm 之间。2001 年美国 and 法国联合发射的 Jason-1 卫星相对于 T/P 卫星, 仪器设备进行了修正, 除了测量精度变为 3.0 cm, 其他指标与 T/P 卫星一致(谢辛等, 2013)。由欧空局发射的 ENVISAT-1 卫星, 搭载的雷达高度计 RA-2, 工作在 Ku 波段, 该高度计相比 T/P 卫星和 Jason 卫星上的高度计, 在平静海面条件下的水平分辨率更高, 达到 1.7 km(杨磊等, 2012)。2011 年我国发射了海洋二号卫星 HY-2A, 星上搭载的雷达高度计, 为双频雷达高度计, 采用脉冲有限工作方式测量海面高度、有效波高和海面风速。该高度计在 20 m 有效波高条件下测高精度为 4 cm, 在 4 m 有效波高条件下测高精度达 2 cm。

2.2.4 合成孔径雷达数据

合成孔径雷达 (SAR) 是一种主动式微波遥感成像雷达, 通常用于观测海表面风、内波、海浪(李颖等, 2017), 其次, 还能监测海冰情况和海上溢油, 具有全天时、全天候及穿透一切地物成像的优点(花磊等, 2003)。随着星载雷达的飞速发展, 按照工作方式的不同, 雷达可分为地面雷达、航空雷达和航天雷达, 测量方式也从单波段、单极化发展到多波段、多极化(王兵, 2006)。欧空局发射的 Envisat-1 卫星上载有 ASAR 传感器, 卫星有同极化和交叉化两种极化模式、5 种工作方式、

宽幅成像等特点。ASAR 数据产品可分为原始数据、0 级产品、1B 级产品和 2 级产品 (李苗等, 2012); 2002 年美国宇航局发射的 LightSAR 卫星, 星上载有 L 波段多极化及具有干涉测量、扫描模式的实用化成像雷达。日本在 2006 年发射了 ALOS 卫星, 卫星上搭载 PALSAR 雷达传感器, 此传感器具有高分辨率、扫描式合成孔径雷达、极化三种观测方式, 可用于全天时全天候对地观测, 当侧视角度为 41.5° 时, 传感器的观测区域在 87.8°N 至 75.9°S 之间, 数据产品有 1.0 级、1.1 级和 1.5 级三类产品 (凌宇飞等, 2009)。

2.2.5 其他遥感数据

自 2013 年 4 月我国成功发射第一颗高分辨率对地观测卫星 (高分一号, GF-1) 起, 为了加强对陆地、海洋、气象的研究, 又相继发射了多个高分卫星。GF-1 卫星搭载了两台 2 m 分辨率全色/8m 分辨率多光谱相机, 四台 16 m 分辨率多光谱相机, 该卫星突破了高空间分辨率、多光谱与宽覆盖相结合的光学遥感关键技术, 能够为相关部门提供高精度、宽范围的空间观测服务 (孙苗等, 2018)。由于传感器和卫星技术不断提高, 在空间高光谱分辨率和高精度观测能力上都有了很大的进步, 影响空间分辨率从米级发展到亚米级, 运行轨道从太阳同步回归轨道到高轨, 监测对象也从陆地转向海洋。高分数据标准产品可分为 0 级、1 级、2 级, 由于高分数据产品具有高分辨率、覆盖范围广等优点, 能够为土地利用监测、城市规划、海洋气象监测预报等领域提供参考依据。

2.3 海洋调查观测数据

随着海洋事业的发展, 海洋观测仪器, 海洋调查船技术都有了明显的提高, 海洋调查观测数据多种多样, 数据分类方式存在差异 (侍茂崇等, 2008)。根据海洋数据类型的不同, 可按学科分为海洋生物、海洋化学、海洋遥感、海洋物理、海洋地质等 (邓清漪等, 2016), 按观测要素类别又可分为水文要素和气象要素, 其中, 水文要素包括海水温度、盐度、海表面高度、叶绿素浓度、海流流速等; 气象要素包括气温、气压、风速、相对湿度、云量等 (杨扬等, 2017)。下面详细介绍几种国家海洋科学数据共享服务平台上发布的数据集 (主要涉及海洋观测站和船舶观测数据) 和中国 Argo 实时资料中心提供的数据产品, 供研究者参考和使用。

2.3.1 全球海平面观测数据集

全球海平面观测数据为整点逐时水位数据, 其数据格式为 ASCII 码格式, 计量单位为 cm, 每日的逐时潮高分为上半天 (0 时-11 时) 和下半年 (12 时-23 时), 涉及的空间范围为全球海域, 时间范围从 1946—2017 年, 共计 10 500 个文件, 数据大小为 0.73GB, 数据为延时数据, 每季度更新一次。文件内容分为表头信息和数据, 前者包括 GLOSS (Global Sea Level Observing System) 资料站名、经度、纬度、观测年月和观测时区, 后者包括观测日期和逐时潮高。

2.3.2 波浪和风场数据集

波浪风场数据集为延时数据集, 原始数据来源于中国石岛、小麦岛、连云港、银水川四个海洋观测站自 1996 年 1 月以来的数据, 并经过解码、格式检查、代码转换、数据标准化、自动质量控制、可视化检查以及校准等数据处理过程, 形成了一套标准化数据集。该数据集每月更新一次, 数据格式为 ASCII 码格式, 四个海洋观测站的代码分别为 001, 002, 003, 004。数据文件名包括观测年份、月份和观测站。数据变量包括风向、风速、有效波高、水深等。

2.3.3 中国台站观测数据集

中国台站观测数据集涵盖了自 1999 年 5 月以来, 中国 13 个海洋观测站的多要素准实时数据, 并经过相应的数据处理, 形成了标准化数据集。文件格式根据时间范围的不同分为 3 个版本, 1999—2010 年间的采用 1.0 版本格式, 2010 年的数据采用 2.0 版本格式, 2010 年之后的数据采用 3.0 的版本格式, 由于版本不同, 数据包含的变量内容也不相同。以最新的版本为例, 包括的观测要素有气温、风向、风速、气压、海水温度、波高、波周期等。该数据格式为 ASCII 码, 文件名包含观测站代码、观测年份、观测月份三部分信息。

2.3.4 中国船舶观测数据集

中国船舶观测数据指的是利用海洋调查船或科考船, 通过走航观测或定点观测获得的数据, 再经过多次数据处理, 最终形成的标准化数据集。此数据集为月平均延时数据, 数据格式为 ASCII 格式, 数据覆盖的时间范围为 1999 年 5 月—2003 年 9 月, 数据文件名包括数据类型代码和观测年月, 例如: Cship199910。数据集包含的要素有气温、风向、

风速、气压、海水温度以及波高等，每个文件中包含多艘调查船的观测数据。由于数据集涉及的环境要素较多，能够满足用户对多要素数据的需求。

2.3.5 全球 Argo 网格化产品数据

全球 Argo 网格化产品数据是中国 Argo 实时资料中心网发布的数据产品，其使用的 Argo 原始观测数据来源于法国 Argo 数据中心，共包含了 10 个中心的浮标资料。通过对 Argo 剖面资料进行质量控制，剔除毛刺和尖峰数据，并采用全三维空间多重网格三维变分数据同化方法，以历年各月气候态产品作为背景场，同化各月的现场 Argo 观测资料，形成历年各月 Argo 网格化产品。该产品的时间范围从 2005 年 1 月—2009 年 12 月，空间范围为全球海域，数据格式采用 NetCDF 格式，产品的水平分辨率为 $1^\circ \times 1^\circ$ ，时间分辨率为逐年逐月。数据产品包含的要素有海水深度、温度和盐度。

到目前为止，国际上实施了多项海洋观测计划（曹震卿等，2018），其中包括：全球海洋观测系统（GOOS），美国综合海洋观测系统（IOOS），欧洲海洋观测与预报服务系统（MyOcean）以及全球综合地球观测系统（GEOSS）等。常见的海洋观测数据有 ARGO 漂流浮标数据（吴森森等，2018），WOCE 世界大洋环流实验数据，TOGA-COARE 热带海洋与全球大气-热带西太平洋海气耦合响应试验数据，温盐深探测系统数据（CTD、XBT）等。已有研究者对上述数据做出详细介绍（李晓婷等，2010），本文不再赘述。正是这些计划的实施，为全球海域的长期观测、监测与防灾减灾提供了重要保障。构建全球海洋实时立体观测网对未来海洋事业的发展也起到关键作用。由于国际海洋观测计划众多，不再一一列出。

2.4 再分析数据

再分析数据是基于海洋动力模式，利用数据同化技术，将历史观测数据同化到海洋动力模式中，得到的一类数据产品（王辉等，2007）。再分析数据的海洋状态场能够体现海洋多要素变化的物理关联性，表现出海洋要素长时间序列、多时空尺度的变化特征，因此常被用来作为海洋模式的驱动场资料。参与数据同化的海洋数值模式多种多样，常见的海洋模式有 POM、FVCOM、HYCOM 等（郑沛楠等，2008）。国外常用的再分析数据资料有海洋大气综合数据集（COADS）、NCEP/NCAR 资料、

全球简单海洋资料同化分析系统（SODA）数据资料、HYCOM 资料、海洋气候与环流估计（ECCO）数据、欧洲中期天气预报中心（ECMWF）数据资料以及日本的 OFES 地球模拟器大洋环流数据集等；国内再分析数据有中国海洋再分析资料（CO-RA）和 FIOCOM 再分析资料等。然而国内的再分析数据产品数量与国外相比相对较少，涉及的海洋要素范围较窄，主要包括海流、海表面高度、海温和盐度（王世红等，2018）。下面简要介绍几种常用的再分析数据。

2.4.1 美国再分析资料

COADS 再分析资料。COADS 是由美国国家气候数据中心（NCDC）等多家部门花费 4 年推出的海洋大气综合数据集，最早的数据集包括了 1854—1979 年之间的海表面资料。十年平均和月平均的资料分辨率为 $1^\circ \times 1^\circ$ 和 $2^\circ \times 2^\circ$ ，数据储存格式为二进制。经过广泛的国际交流合作，之后形成了 I-COADS 国家海洋大气综合数据集。ICOADS 提供过去 3 个世纪的海洋表面数据，包含的水文气象变量有海洋表面温度、气温、风速、云量等，覆盖区域为全球范围。ICOADS 观测和统计的相关数据集是按照每月的时间间隔，存在两种分辨率格式的数据集， $1^\circ \times 1^\circ$ 的 1960—2018 年间的资料和 $2^\circ \times 2^\circ$ 的 1800—2018 年间的资料（Freman et al, 2016）。由于包含了围绕测量技术发展的许多不同观测系统的观测资料，因此 ICOADS 可能是现有最完整和异构的表面海洋数据集。

NCEP/NCAR 再分析资料。该资料为全球气象资料数据库，1948 年发布至今 70 年的全球大气再分析产品，常用于海洋模式的驱动场。NCEP/NCAR 再分析数据集涉及等压面资料、地面资料、通量资料等，NCEP/NCAR 再分析资料采用 NetCDF 格式，由于 NCEP 资料时间序列长，涵盖内容广，常被用来研究大气对海洋的影响。

GFS 再分析风场数据。全球预报系统（GFS）是由美国国家环境预测中心（NCEP）制作的包括四个独立模型的天气预报模型，其预报数据可预测未来 192 h 的天气。GFS 风场再分析数据水平分辨率有 $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ 和 $1^\circ \times 1^\circ$ 两种，时间范围分别为 2007 年 1 月至今和 2004 年 3 月 2 日至今（Xiao et al, 2014）。每天有四个时次的风场数据，数据空间范围为全球气象数据，数据格式为 GRIB 格式。

SODA 再分析数据。SODA 指的是全球简单海洋资料同化系统,目的是为气候研究提供一套与大气再分析产品相匹配的海洋再分析产品 (Carton et al, 2008)。该系统常用的海洋模式有由美国地球物理流体实验室开发的 MOM 模块化海洋模式和 POP 海洋并行海洋模式,采用随机连续估计理论和质量控制方法的同化方法, SODA2.2.4 版本同化了超过 100 年的数据资料 (1871—2008 年),空间分辨率为 $0.5^{\circ}\times 0.5^{\circ}$,时间分辨率为月平均,覆盖空间范围为 $179.75^{\circ}\text{W}-179.75^{\circ}\text{E}$, $75.25^{\circ}\text{S}-89.25^{\circ}\text{N}$,垂向分为 40 层,包括的变量有温度、盐度、海流、海表面高度和海表面风。目前 SODA 最高版本为 3.7.2 的再分析数据集,时间范围从 1980—2013 年,空间分辨率为 $0.5^{\circ}\times 0.5^{\circ}$,时间分辨率有 5 天平均和月平均两种。

HYCOM 再分析数据。HYCOM (Hybird Coordinate Ocean Model) 是一种混合坐标海洋环流模式,该模式垂向采用混合坐标的形式,包括等密度坐标、 δ 坐标和 Z 坐标,可根据研究的海洋区域不同,选择合适的坐标系模拟海洋物理场。HYCOM 数据集的数据源包括卫星高度计观测资料、海表面温度资料以及来自 XBTs、Argo 浮标和锚定浮标的资料,再利用美国海军耦合数据同化系统 HYCOM 模式,得到海洋再分析数据,数据同化方法采用三维变分方法 (Castellanos et al, 2016)。GOFS3.0 全球再分析数据的时间范围从 1992 年 10 月 2 日—2012 年 12 月 31 日,网格分辨率为 $1/12^{\circ}$,纬度范围为 $80.48^{\circ}\text{S}-80.48^{\circ}\text{N}$,经度范围从 $180^{\circ}\text{W}-180^{\circ}\text{E}$,包含的变量有海表面温度 (SST)、东向速度 (u)、北向速度 (v)、海水温度 (t)、海水盐度。该数据集可从 HYCOM 官网下载,除此之外,该网站也提供了其他分析数据集,例如: GOFS3.1 全球再分析数据集, GoM 再分析数据集, NCEP-CFSR 再分析数据集和其他分析数据集。这些数据集的空间范围,时间跨度,垂向标准层层数各不相同,因此用户可以选择自己所需的数据集进行下载。

ECCO 再分析数据。ECCO 再分析计划是 WOCE 世界大洋环流实验计划的组成部分,目标是将大洋环流模式与各种海洋观测资料相结合,从而得到对海洋状态时空变化的定量描述 (Wunsch et al, 2009)。海洋模式采用 MITgcm 麻省理工学院广义坐标系, ECCO2 为 ECCO 的改进版本,海洋

模式耦合了海冰模式,采用四维变分同化方法,水平分辨率提高到 18 km 左右,该分辨率可达到涡相容,目前可下载的数据产品有 1992—2006 年的月平均再分析数据,包含海温、盐度、经向流速、纬向流速,海表面高度 5 个变量。2016 年发布的 ECCO-V4 版本日平均再分析数据集,时间范围 1992—2015 年,水平分辨率为 12 km 左右,垂向分为 50 层。

2.4.2 欧洲再分析资料

ECMWF 提供天气实测数据和模式预报产品以及全球海气模式运算所需的相关数据。常用的大气再分析资料有 ERA-15 (1979—1993 年)、ERA-45 (1957—2002 年)、ERA-40 (1958—2007 年)、ERA-Interim (1989 年至今)。发布的海洋再分析数据有 ORA-S3 再分析资料、ORA-S4 再分析数据、ORAP5 再分析数据等。ORA-S3 是利用三维最优插值同化方案将观测数据和 HOPE 数值预报模式结合产生的月平均数据集,水平分辨率为 $1^{\circ}\times 1^{\circ}$,垂向分为 29 层,时间范围从 1959 年 1 月—2011 年 12 月,包含 6 个变量 (Balmaseda et al, 2008)。ORA-S4 数据集是采用三维变分的同化方法将历史观测资料与 NEMO 模式相结合形成月平均再分析数据集,其水平分辨率为 $1^{\circ}\times 1^{\circ}$,垂向分为 42 层,时间从 1957 年 9 月至今,包含 5 个变量。ORAP5 再分析数据使用了更新的 ORA-S4 的同化方法和耦合海冰模块的海洋模式,其水平分辨率为 $0.25^{\circ}\times 0.25^{\circ}$,垂向分为 75 层,时间范围从 1979 年 1 月—2012 年 12 月,时间分辨率为 5 天,包含 5 个变量。

2.4.3 日本再分析资料

OFES 是由日本地球模拟器中心开发的能用于地球模拟器的最佳并列化代码,该再分析系统使用的模式是由美国大气局和地球流体动力学实验室开发的 MOM3 模块化海洋模式第三版,由于地球模拟器的计算性能强,模式水平分辨率可达百米至千米,垂直分辨率为 100~300 层,其时空尺度包含了从局地现象到全球现象的模拟。涉及的海洋要素有三维流速、温度、盐度以及二维海表面高度等。例如 ESTOC (Estimated State of global Ocean for Climate research) 再分析数据,采用 MOM3 海洋模式和 4DVAR 同化方法,可下载的数据集空间范围为 $75^{\circ}\text{S}-80^{\circ}\text{N}$,时间范围为 1957—2011 年,水平分辨

率为 $1^\circ \times 1^\circ$ ，时间分辨率为月平均，垂向分为 46 层 (Masuda et al, 2010)。MOVE-G2 多元变分全球再分析系统 (Fujii et al, 2003)，采用三维变分同化方式并结合经验正交函数模态分解 (EOF) 对温盐误差订正，海洋模式使用由日本气象研究所开发的大洋环流模式，研制出一套月平均再分析数据，其水平分辨率为 $1^\circ \times 1^\circ$ ，垂向分为 52 层，时间范围为 1948 年至今，包含 6 个变量。常用的全球大气再分析产品有日本气象厅 (JMA) 和电力中央研究所 (RIEPI) 联合研制的 JRA-25 (数据时间范围为 1979—2004 年) 和 JRA-55 (数据时间范围为 1958—2013 年) 再分析数据集。

2.4.4 中国海洋再分析资料

由国家海洋信息中心研制的海洋再分析数据，根据空间范围的大小，可分为全球海洋再分析数据产品和区域海洋再分析数据产品 (吴国伟等, 2018)。其中，全球海洋再分析数据，选用的是麻省理工学院海洋环流模式 (Massachusetts Institute of Technology general circulation model, 简称 MIT-gcm)，采用的数据同化方法为多重网格三维变分的同化方法，数据产品覆盖的时间范围从 1958 年 1 月—2017 年 12 月，为月平均数据，数据集的经度范围为 180°W — 180°E ，纬度范围为 75°S — 85°N ，空间分辨率为 $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ ，赤道区域加密到 $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ ，垂向方向共分为 35 层标准层，数据格式为

NetCDF，数据包含的变量有海水温度、海水盐度、海流流速和海表面高度。区域海洋再分析数据，研究的海域为西北太平洋海域，采用普林斯顿广义坐标系统海洋模式 (POMgcs)，根据时间分辨率的不同，区域再分析产品分为月平均产品和日平均产品。日平均再分析数据空间范围为 99°E — 150°E ， 10°S — 52°N ，空间分辨率从 0.5° 变化到 0.125° ，时间范围 1958 年 1 月 1 日—2017 年 12 月 31 日，垂向分为 35 层，数据存储格式为二进制。

由自然资源部第一海洋研究所研制的新一代海浪-潮流-环流耦合高分辨率模式 FIOCOM (wave-tide-circulation Coupled Ocean Model developed by the First Institute of Oceanography)，利用集合卡尔曼滤波 (EnKF) 同化方法，同化的数据包括海洋卫星 SST 数据、卫星高度计 SSH 数据、Argo 温盐剖面数据 (Shi et al, 2018)，制作的再分析数据包括 5 个变量，水平分辨率为 $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ ，时间分辨率为 1 天，垂向分为 54 层，时间范围为 2014 年 1 月 1 日—2015 年 12 月 31 日。

2.4.5 其他

除上述介绍的再分析数据外，还有德国 GEC-CO 海洋再分析数据，法国 GLORYS (Global Ocean Reanalysis and Simulations) 海洋再分析数据，PSY4V3 海洋再分析数据 (Fichefet et al, 1997) 等，由于使用相对较少，不再一一赘述。

表 2 数据名称及数据中所包含的要素 (√表示包含该要素)

数据名称	要素	水深/h	海表面高度 SSH	海水表面温度 SST	海水温度	海水盐度	波高	海流	气温	气压	海表面风	云量	热通量	辐射通量
ETOP 数据		√												
AVHRR 反演数据				√										
MODIS 二级产品		√	√	√		√	√	√	√	√	√	√		
ARGO 浮标数据		√			√	√								
WOCE 数据				√	√	√		√						√
TOGA-COARE 资料				√	√	√		√	√	√	√			√
CTD 资料		√			√	√								
XBT 资料		√			√									
全球海平面数据			√											
波浪与风场数据		√					√							√
中国台站观测数据					√		√		√	√	√			
中国船舶观测数据					√		√		√	√	√			
ICADS 数据			√	√	√				√	√	√	√		
NECP/NCAR 数据										√	√	√		√
SOAD 数据			√		√	√		√			√			

(待续)

续表

数据名称	要素	水深/h	海表面高度 SSH	海水表面温度 SST	海水温度	海水盐度	波高	海流	气温	气压	海表面风	云量	热通量	辐射通量
HYCOM 数据				√	√	√		√						
ECMWF 数据									√		√	√	√	√
全球再分析产品			√	√	√	√		√						
区域再分析产品			√	√	√	√		√						
FIOCOM 再分析数据			√	√	√	√		√						
GECCO 再分析数据			√	√	√	√		√						
GLORYS 再分析数据			√	√	√	√		√						
PSY4V3 再分析数据			√	√	√	√		√						

表 3 不同数据的时空信息

数据名称	空间范围	空间分辨率	时间范围	时间分辨率
ETOPO5	全球	5'		
ETOPO2	全球	2'		
ETOPO1	全球	1'		
GEBCO	全球	1', 30"		
AVHRR 数据	全球	4 km(Global Area Coverage, GAC)、15 km(Global Vegetation Index, GVI)	1982 年至今	成像周期: 12 小时、6 天、7 天
Daily OISST	全球海洋	0.25°	1981 年至今	1 天
MODIS 数据	全球	0.25 km、0.5 km、1 km	1999 年至今	1 天、8 天、16 天、1 个月
AMI Wind Mode 风场数据		25 km		
Sea Winds 标准风场数据		25 km		1 天
ASCAT 业务风场数据		12.5 km、25 km		轨道循环一次约为 29 天
高分一号卫星	全球	2 m 分辨率全色/8 m 分辨率多光谱相机、16 m 分辨率多光谱相机		重访周期(侧摆时): 4 天
高分二号卫星	全球	全色 0.8 m、多光谱 3.2 m		重访周期(侧摆时): 5 天
高分三号卫星	全球	1~500 m		全天候、全天时对地观测
高分四号卫星	全球	可见光近红外(VNIR)50 m、中波红外(MWIR)400 m		重访时间 20 s
Argo 数据		300 km	1997 年 7 月至今	
WOCE 世界大洋环流实验资料	全球海洋	空间尺度几千公里至全球	1990 年—2002 年	
TOGA 资料	西太平洋	空间范围 10°S-10°N, 140°E-180°E	1992 年 11 月—1993 年 2 月	
全球海平面观测数据集	全球海域		1946 年—2017 年	逐时
波浪和风场数据集	中国海洋观测站		1996 年 1 月至今	逐年逐月
中国台站观测数据集	中国 13 个海洋观测站		1999 年 5 月至今	逐月
中国船舶观测数据集	走航观测或定点观测		1999 年 5 月—2003 年 9 月	月平均
全球 Argo 网格化产品数据	全球海域	1°×1°	2005 年 1 月—2009 年 12 月	逐年逐月
COADS 数据	全球	1°×1°、2°×2°	1960 年—2018 年、1800 年—2018 年	月平均、十年平均
SODA 资料	全球海域	0.5°×0.5°	1980 年—2013 年	5 天平均、月平均
HYCOM 数据	80.48°S-80.48°N, 180°W-180°E	1/12°×1/12°	1992 年 10 月 2 日—2012 年 12 月 31 日	日平均
ECCO 再分析资料	全球海域	18 km、12 km	1992 年—2015 年	月平均、日平均

(待续)

续表

数据名称	空间范围	空间分辨率	时间范围	时间分辨率
ECMWF 数据	全球	1°×1°、0.25°×0.25°	1957 年 9 月至今	月平均、5 天平均
ESTOC 再分析资料	75°S-80°N	1°×1°	1957 年—2011 年	月平均
MOVE-G2 再分析资料	全球	1°×1°	1948 年至今	月平均
全球海洋再分析数据	180°W-180°E 75°S-85°N	0.5°×0.5°，赤道区域加密到 0.25°	1958 年 1 月—2017 年 12 月	月平均
区域海洋再分析数据	99°E-150°E， 10°S-52°N	0.5°×0.5°，赤道区域加密到 0.25°	1958 年 1 月 1 日—2017 年 12 月 31 日	月平均、日平均
FIOCOM 再分析数据	全球	0.1°×0.1°	2014 年 1 月 1 日—2015 年 12 月 31 日	日平均
GECCO 再分析数据	全球海域	0.1°×0.1°，	1952 年 1 月—2001 年 12 月	月平均
GLORYS 再分析数据	全球	0.25°×0.25°	1993 年 1 月—2015 年 12 月	日平均
PST4V3 再分析数据	全球	1/12°×1/12°	2006 年 12 月至今	日平均、小时平均

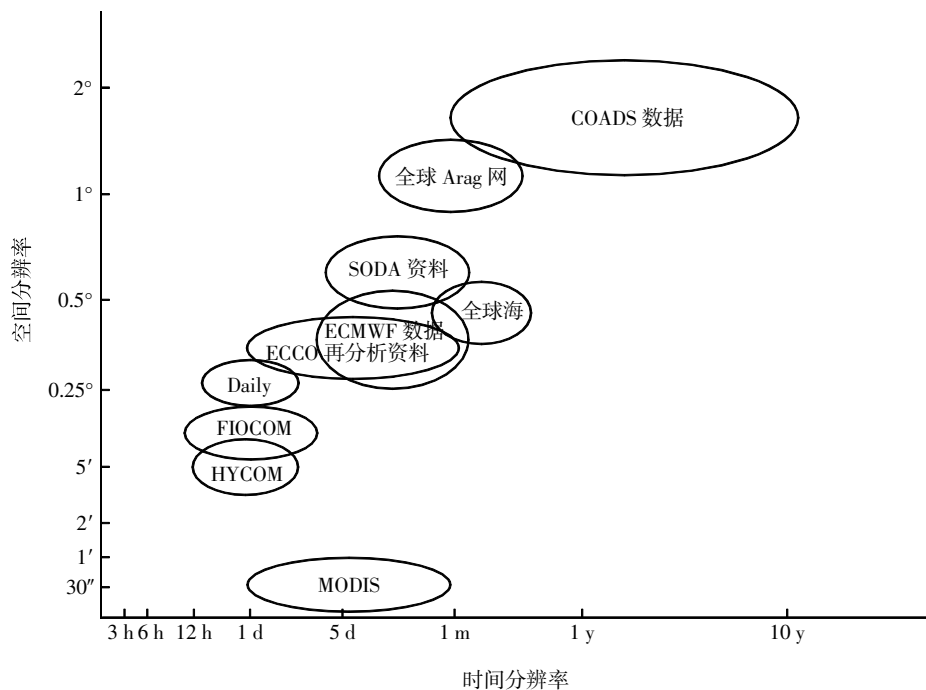


图 1 海洋科学数据时空分辨率分布图

3 讨论

本文所介绍的三类地形水深数据，因各数据集原始数据来源以及数据处理方式的不同，在空间分辨率上存在明显的差异，其中使用最广泛的地形水深数据是 ETOP 数据，空间分辨率相对较高的地形水深数据是 GEBCO 数据，该数据具有分辨率较高的优势，未来可能成为使用最多的水深数据。由方国洪院士研制的地形数据集，虽然相对于最新版 ETOP 数据和 GEBCO 数据的分辨率相对较低，但

该数据集测量的中国海域水深地形更加准确，更适用于我国近岸海域的研究，然而该数据集距现在已过去了近 20 年的时间，海底地形分布情况会发生不同程度的变化，到目前为止，尚未有相关科研人员研制出比较新的适合中国近岸海域的水深地形数据，因此亟须一套专门针对中国海域相对较新的高精度地形水深数据集。

卫星遥感数据具有覆盖广、同步观测等优点，由于传感器种类繁多，观测的要素也有所不同。就辐射计而言，可用来获取海表面温度、叶绿素浓度、气温数据、云层厚度等要素数据，例如 AVHRR

辐射计和 MODIS 辐射计。就散射计而言,通过测量后向散射能量进而反演海面风场数据,例如 A-MI Wind Mode 散射计、Sea Winds 散射计、ASCAT 散射计等,这些散射计在工作频率上和数据分辨率上存在差异。就高度计而言,可用于测量海平面高度、海底地形、有效波高以及海面风速等要素数据,利用高度计数据可用于分析海洋中尺度过程,常用的高度计数据有 T/P 海平面高度数据。就合成孔径雷达而言,可用于观测表面风、内波、海浪、海冰和海上溢油,具有全天时全天候及穿透一切地物成像的优点。

海洋调查观测最常用的观测数据是 Argo 漂流浮标数据。相对于过去而言,虽然现场观测次数和观测范围逐年扩大,观测数据获取量日益剧增,但能够用于数据共享,对用户公开的数据相对较少,尚不能充分的满足人们的需求。因此,在海洋实测数据方面的数据共享,例如浮标数据,CTD 数据,调查船观测数据等,有待进一步开展。

再分析数据由于包含多种海洋要素,具有时间序列较长且连续的特点,能够体现海洋要素多时空尺度的变化特征,常用作海洋模式的驱动场。本文主要介绍了美国、欧洲天气预报中心、日本以及我国的海洋再分析数据。不同类别的再分析数据在时空尺度、时空分辨率、涉及的海洋要素种类上也存在差异。总的来说,COADS 月平均全球海洋再分析数据时间范围最长,从 1800—2018 年,HYCOM 日平均海洋再分析数据空间分辨率最高为 $1/12^\circ$ 。

4 小结

由于科学技术的不断提高,用于获取海洋数据的仪器设备越来越精确,数据覆盖范围越来越广,时空分辨率也越来越高。随着海洋大数据时代的到来,海洋科学数据共享服务已成为当今热点话题,因此,如何把数量庞大的海洋数据有效的处理、分类,是目前首要工作之一。海洋数据种类繁多,数据量大,数据来源、数据类型、数据处理方法、数据产品用途也不尽相同,因此想要清楚了解各类海洋数据以及各自特点,仍需进行大量的工作。为将我国建设成海洋强国,对于海洋资源的开发、利用与保护,海洋精细化预报,海洋环境监测,海上搜救等海上服务的研究显得格外重要。纵观国内和国

外海洋研究的进展情况,虽然我国近些年在海洋领域上已取得了飞跃式的进步,但与国外相比还是有一定差距。本文列举了部分常用的地形数据、卫星遥感数据、海洋调查观测数据、再分析数据,目的是使海洋领域的专家和研究人员能够快速找到自己所需要的海洋数据资料,以便顺利地从事科研工作。但由于海洋数据量比较大、数据类型多种多样,文中仅列举了小部分的海洋数据资料,未来将会继续在研究中总结归纳。

致谢:感谢国家科技资源共享服务平台—国家海洋科学数据共享服务平台大连分中心 (<http://odc.dlou.edu.cn/>) 提供的数据库支持。

参 考 文 献

- Balmaseda M A, Vidard A, Anderson D L T, 2008. The ECMWF Ocean Analysis System: ORA-S3. *Monthly Weather Review*, 136(8):3018–3034.
- Carton J A, Giese B S, 2008. A Reanalysis of Ocean Climate Using Simple Ocean Data Assimilation(SODA). *Monthly Weather Review*, 136(8): 2999–3017.
- Castellanos P, Campos E J D, Giddy I, et al, 2016. Inter-comparison studies between high-resolution HYCOM simulation and observational data: The South Atlantic and the Agulhas leakage system. *Journal of Marine Systems*, 159: 76–88.
- Fichefet T, Maqueda M A M, 1997. Sensitivity of a global sea ice model to the treatment of ice thermodynamics and dynamics. *Journal of Geophysical Research*, 102(C6): 12609.
- Freeman E, Woodruff S D, Worley S J, et al, 2016. ICOADS Release 3.0: a major update to the historical marine climate record. *International Journal of Climatology*.
- Fujii Y, Kamachi M, 2003. Three-dimensional analysis of temperature and salinity in the equatorial Pacific using a variational method with vertical coupled temperature-salinity empirical orthogonal function modes[J]. *Journal of Geophysical Research*, 108(C9): 3297.
- Masuda S, Awaji T, Sugiura N, et al, 2010. Simulated Rapid Warming of Abyssal North Pacific Waters. *Science*, 329(5989): 319–322.
- Shi J, Yin X, Shu Q, et al, 2018. Evaluation on data assimilation of a global high resolution wave-tide-circulation coupled model using the tropical Pacific TAO buoy observations. *Acta Oceanologica Sinica*, 37(3): 8–20.
- Wunsch C, Heimbach P, Rui M P, et al, 2009. The global general circulation of the ocean estimated by the ECCO-consortium. *Oceanography*, 22(2): 88–103.
- Xiao H, Mechoso C R, Sun R, et al Diagnosis of the marine low cloud simulation in the NCAR Community Earth System Model (CESM) and the NCEP global forecast system (GFS)-modular ocean model v4

- (MOM4) coupled model. *Climate Dynamics*, 2014.
- 蔡秀芳, 2011. 涉海类文献信息资源研究综述. *海洋信息*, (2): 4-7.
- 邓清漪, 邱小如, 高虎, 2016. 浅析我国水文监测数据分析方法. *低碳世界*, (13): 66-67.
- 高留喜, 朱蓉, 常蕊, 2014. QuikSCAT 和 ASCAT 卫星反演风场在中国南海北部的适用性研究. *气象*, 40(10): 1240-1247.
- 侯京明, 高义, 李涛, 2012. 海洋数值模型常用地形数据概述. *海洋预报*, 29(6).
- 侯雪燕, 洪阳, 张建民, 等, 2017. 海洋大数据: 内涵、应用及平台建设. *海洋通报*, 36(4): 361-369.
- 花磊, 李景文, 2003. 合成孔径雷达(SAR)干扰技术研究. *遥测遥控*, 24(2): 14-18.
- 李苗, 臧淑英, 那晓东, 等, 2012. ENVISAT-ASAR 数据产品介绍与数据处理. *测绘与空间地理信息*, 35(1): 63-65.
- 李四海, 2015. 通用大洋水深制图(GBCO)的发展与启示. *海洋信息*, (2): 1-5.
- 李潇, 路文海, 杨翼, 等, 2016. 浅析我国海洋环境监测数据公开的现状与建议. *海洋开发与管理*, 33(7): 97-101.
- 李晓婷, 郑沛楠, 王建丰, 等, 2010. 常用海洋数据资料简介. *海洋预报*, 27(5): 81-89.
- 李颖, 李冠男, 崔璨, 2017. 基于星载 sar 的海上溢油检测研究进展. *海洋通报*, (3).
- 刘宇昕, 2013. 星载微波散射计数据和数值模式产品海面风场混合分析研究. 北京: 国家海洋环境预报中心.
- 林美华, 方国洪, 1999. 中国海标准经纬度水深和基准面数据表. 青岛: 中国科学院海洋研究所.
- 凌宇飞, 李晴, 2009. ALOS 卫星数据特点及其应用//全国农业遥感技术研讨会.
- 钱莉, 刘文岭, 郑小慎, 等, 2011. 基于 MODIS 数据反演的渤海叶绿素浓度时空变化. *海洋通报*, (6).
- 侍茂崇, 高郭平, 鲍献文, 2008. 海洋调查方法导论. 青岛: 中国海洋大学出版社.
- 师艳子, 李云松, 郑毓轩, 等, 2018. 国内外卫星遥感数据源综述//2018 软件定义卫星高峰论坛会议摘要集.
- 宋婷婷, 樊伟, 伍玉梅, 2013. 卫星遥感海面高度数据在渔场分析中的应用综述. *海洋通报*, 32(4): 474-480.
- 宋转玲, 刘海行, 李新放, 等, 2013. 国内外海洋科学数据共享平台建设现状. *科技资讯*, (36): 20-23.
- 孙苗, 张宏晔, 张峰, 等, 2018. 基于高分遥感影像的海岛建筑物高度测算研究. *海洋通报*, 37; No.219(4): 110-116.
- 孙志伟, 2013. 基于 NOAA-AVHRR 数据的中国陆地长时间序列地表温度遥感反演. 兰州: 兰州交通大学.
- 王兵, 2006. 合成孔径雷达的特点及其干扰技术. *中国电子科学研究院学报*, 1(2): 168-170.
- 王辉, 刘桂梅, 万莉颖, 2007. 数据同化在海洋生态模型中的应用和研究进展. *地球科学进展*, 22(10): 989-996.
- 王世红, 赵一丁, 尹训强, 等, 2018. 全球海洋再分析产品的研究现状. *地球科学进展*, 33(8): 24-37.
- 吴国伟, 白杨, 武贺, 等, 2018. 基于 CORA 数据的南海海面温度场变化特征分析. *海洋技术学报*, (4): 37-42.
- 吴森森, 曹敏杰, 杜震洪, 等, 2018. 全球 Argo 资料共享与服务平台设计与实现. *海洋通报*, 37; 218(3): 50-58.
- 谢辛, 李燕初, 阮海林, 等, 2013. 基于 TP 卫星高度计资料的台湾岛周边海域风浪的分布和时间变化特征. *应用海洋学学报*, (1): 102-107.
- 邢文明, 2014. 我国科研数据管理与共享政策保障研究. 武汉: 武汉大学.
- 曹震卿, 张永刚, 李庆红, 等, 2018. 基于 woa13 数据的北大西洋声传播分析. *海洋通报*, 37(5): 77-87.
- 于婷, 王海波, 董明媚, 2013. 欧洲海洋数据管理网络及服务. *海洋开发与管理*, 30(6): 1-9.
- 杨磊, 常晓涛, 郭金运, 等, 2012. 一种利用 ENVISAT RA2 雷达高度计探测极地海冰的方法/中国测绘学会学术年会.
- 杨娜, 2006. NOAA/AVHRR 数据在事故溢油中应用研究. 青岛: 中国海洋大学.
- 杨扬, 苗庆生, 韦广昊, 等, 2017. 海洋站观测资料的质量控制方法及其应用. *海洋开发与管理*, 34(10): 109-113.
- 杨翼, 刘书明, 路文海, 等, 2014. 我国海洋环境监测数据信息等级划分研究. *环境与可持续发展*, 39(6): 112-116.
- 张增海, 曹越男, 刘涛, 等, 2013. ASCAT 卫星反演风场在中国近海的初步检验. *天气预报*, 5(2): 8-15.
- 郑沛楠, 宋军, 张芳苒, 等, 2008. 常用海洋数值模式简介. *海洋预报*, 25(4): 108-120.
- 朱星明, 耿庆斋, 蔡佳男, 2008. 水利科学数据共享的现状与发展趋势. *中国水利*, (14): 47-50.
- 邹巨洪, 林明森, 张毅, 等, 2017. 海洋二号卫星微波散射计面元匹配. *遥感学报*, 21(6): 825-834.

(本文编辑: 袁泽轶)