

基于 web 的海洋卫星数据服务研究



论文作者签名: 康燕,

指导教师签名: 潘幼勇

论文评阅人 1: _____ 匿名评审

评阅人 2: _____ 匿名评审

评阅人 3: _____ 匿名评审

评阅人 4: _____ 匿名评审

评阅人 5: _____ 匿名评审

答辩委员会主席: 刘仁义

委员 1: 刘仁义

委员 2: 潘德炉

委员 3: 毛志华

委员 4: 潘玉良

委员 5: 杨劲松

答辩日期: 2012-12-05

Y2304121

**The Study of Ocean Satellite Data Service Based on
Web**



Author's signature: Kang Yun

Supervisor's signature: Pan Delu

Thesis reviewer 1: Anonymity

Examining Committee Members:

Liu Renyi

Pan Delu

Mao Zhihua

Pan Yuliang

Yang Jinsong

Date of oral defence: 2012-12-05

浙江大学研究生学位论文独创性声明

本人声明所呈交的学位论文是本人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得 浙江大学 或其他教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示谢意。

学位论文作者签名：康燕， 签字日期：2012年12月12日

学位论文版权使用授权书

本学位论文作者完全了解 浙江大学 有权保留并向国家有关部门或机构送交本论文的复印件和磁盘，允许论文被查阅和借阅。本人授权 浙江大学 可以将学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索和传播，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编学位论文。

(保密的学位论文在解密后适用本授权书)

学位论文作者签名：康燕

导师签名：潘洁

签字日期：2012年12月12日

签字日期：2012年12月12日



致谢

从 2008 年至今，四年的博士生涯即将结束，回顾这四年的困惑、艰难与坚持，无限感慨。我非常感谢这些年来给过我帮助与支持的老师、家人和朋友。

首先非常感谢我的导师潘德炉院士，潘老师是我求学生涯中最为敬重的老师。自 2005 年来到海洋二所学习以来，无论是潘老师在学术上渊博的知识、敏锐的洞察力和严谨的治学态度，还是在为人处世上和蔼亲切的态度与宽广的胸怀，都深深地感染着我、教育着我，这些都是我人生中最宝贵的财富。博士四年，我论文的选题、研究过程到论文的撰写的整个过程无不凝结了导师的智慧和心血。在我论文即将完成之际，在此向潘老师表示最衷心的感谢。

其次我要感谢海洋二所的何贤强和白雁老师，在我的博士论文的研究和写作过程中给了我不少建议和指点，如果没有他们的帮助，我将很难在四年的时间里完成我的博士论文。同时他们对科学研究执着与奉献也是值得我学习的。特别感谢毛志华研究员、黄海清老师及王迪峰博士在我多年的学习和生活上的指导与照顾。感谢龚芳、朱乾坤在我的研究过程中提供研究数据以及设备支持。感谢陈建裕博士、郝增周博士，在我的学习和研究中给予的帮助与鼓励。同时也感谢一路相伴走过的同学：杨乐、李宁、陈正华、雷惠、张汉松、邹巨洪、丁又专、陶邦一、任林、陈小燕、张晓萍、徐晓晖、崔倩芳、梁理金、涂乾光、张翾、吴均平、康林冲、詹远增、乔书娜、张琳、陈彬霞等，非常感谢他们在我读硕、读博期间给予了我许多欢笑与帮助！他们的乐观的精神与积极进取的品质是我永远学习的榜样。

我还要感谢海洋二所的张庆老师、汪依凡老师、楼如云老师等给予我学习上的指导和生活上的帮助。感谢卫星海洋环境动力学国家重点实验室为我学习提供了良好宽泛的学习环境和丰富的资源。感谢浙江大学的刘南教授、刘仁义教授，以及张丰老师在科研与论文方面的指导，感谢朱建丽老师对我学业上的关照。感谢浙江有色金属地质勘查局的领导和同事们，特别是测绘院信息中心的刘玉平、肖红华、陈志达、施志梅等领导和同事，在我读博期间对我的关心。

最后，我要特别地感谢我的家人，尤其是我的丈夫王君和我的儿子王傲岩，



如果没有他们的相伴，我都不知道我是否有勇气考博、读博，是否有毅力坚持完成学业。无论将来生活事业如何变迁，他们的爱都将是我不断进取的动力。非常感谢我的父母兄弟，他们的理解以及支持是我不断进取的强大后援。感谢我的公公婆婆，尤其是我的婆婆，四年来任劳任怨地帮我照顾儿子，使我能安心地学习和研究。感谢他们的无私奉献！

最后感谢所有参加本论文评阅、答辩以及对本论文提出宝贵意见的专家、老师们！

由于篇幅所限，可能有些给予过我帮助的没能提起，在此，一并感谢！



摘要

海洋卫星技术，在获取海洋信息方面具有空间范围大、实时同步、全天时、全天候、多波段成像等优势。海洋卫星技术经过 30 多年的发展，目前已经能够每天采集到海量的海洋环境信息数据。但是这些海洋卫星数据时空采样方案复杂、数据产品级别多样、数据格式或者组织形式也各不相同，且这些数据分别由不同卫星数据中心处理和管理。此外，不同用户群体对卫星数据的需求不尽相同。对数据的管理者而言，目前还缺乏统一的、有效的组织与管理；对数据的使用者而言，面临数据收集与处理的艰巨挑战。因此，如何有效地管理与共享海洋卫星遥感数据，以支持海洋环境的空间分析和决策成为了目前急需解决的问题之一，如何提供高效的、准确的、实时的海洋卫星遥感数据服务已成为目前国内研究的一个重点和热点问题。

Web 服务与 GIS 服务结合是目前空间数据网络服务的重要技术。海洋卫星数据作为地球科学空间数据的重要组成部分，可以利用 Web 服务与 GIS 服务来实现向公众提供数据服务。而国际上已有的基于网络的海洋卫星数据管理与共享服务系统大多仅能够提供基本的数据服务，如数据查询、搜索、浏览、订购、下载等，例如美国国家航空航天局（NASA）、欧洲太空局（ESA）及各国海洋卫星数据中心提供的数据服务平台。国内相关的工作刚刚起步，还没有相对完善的服务平台。本文针对目前国家海洋局第二海洋研究所遥感系统多年积累的海洋卫星数据，结合 GIS 服务技术，研究并开发基于 web 的海洋卫星数据服务系统-OSDSS，该系统不仅具有数据浏览、查询、下载、订购等基本数据服务功能，还具有在线交互可视化及数据分析的功能。

本文首先介绍了数据服务的研究背景和国内外研究现状，提出了本论文具体的研究内容、需要解决的关键问题和技术难题，并简要地介绍了本文的组织结构。

海洋卫星数据服务-OSDSS 是在数据服务，尤其是在空间数据服务的基础上发展起来的，海洋卫星数据服务的概念与服务内容都借鉴了空间数据服务，尤其是 ESRI 的空间数据服务的概念与内容。在介绍了与数据服务相关的概念、内容、技术、实现的基础上提出了海洋卫星数据服务系统-OSDSS 的架构及实现的技术



路线。

海洋卫星数据具有数据量大，数据来源复杂、种类繁多、级别、格式多种多样的特点，本文利用 GIS 技术来对数据进行管理，尤其是对具有时空特性的海洋卫星数据进行管理，设计了海洋卫星数据模型结构，利用空间数据库引擎(SDE)将海洋卫星数据进行统一管理，建立了海洋卫星数据库管理系统，实现对相关数据的录入、修改、备份及数据使用等综合管理。

本文设计并实现了海洋卫星数据服务，既包括基本数据服务(如数据的检索、查询、下载等)，也包括元数据服务和在线可视化与分析服务。海洋卫星元数据服务系统的建设可以提高数据服务的效率，为海洋卫星数据的共享和应用提供更为有效的手段。本文设计的海洋卫星元数据标准是在《海洋信息元数据》(HY/T 136-2010)标准的基础上，根据海洋卫星数据自身的特点建立的。海洋卫星元数据服务系统包括元数据层、元数据服务层以及用户层的三层架构。海洋卫星数据可视化服务不仅可以提供数据的二维可视化，还实现了基于 KML 技术可视化服务。系统目前能够实现海洋水色水温、海洋风场等海洋卫星数据以及部分实测数据向 KML 或 KMZ 的转换，并在 Google Earth 上进行可视化。此外，海洋卫星数据的在线分析服务也是本文海洋卫星数据服务系统-OSDSS 的重要功能，主要有缓冲区分析，面积提取及统计等。

本文最后以两个典型的应用来说明海洋卫星数据服务系统-OSDSS 在海洋环境研究及监测方面的应用。第一个典型应用是对 2011 年台风梅花过境海域的海洋环境参数，主要是海表温度、海面风场以及海表叶绿素浓度的时空变化的分析。另一个典型应用是利用全球盐度数据，结合全球河流的基础地理信息数据，提取全球主要大河冲淡水区域，并统计它们的面积值。

关键词: 海洋卫星，数据服务，元数据，在线可视化，网络服务(web service)，地理信息系统(GIS)



Abstract

The ocean satellite observations have more advantages for the study of global change, ocean resource protecting and ocean engineering implementing since their large area coverage and high frequency observation. During the past three decades, there has been a dramatic growth in the number and variety of ocean observing satellite, and vast amounts data were obtained every day which have already given us a global view of ocean environment parameters, including the sea surface temperature, ocean color, wind, wave, sea level and sea ice, etc.. But these data are used difficultly to be widely applied for customs because of complexly spatial-temporal sampling, multi-levels products, non-uniform data format and varieties of users' need. Furthermore these data are handled and managed by different satellite data centers. So it is urgently to develop a flexible platform to share the data and merge the different kinds of the information. In this paper Ocean Satellite Data Service System (OSDSS) has been studies and established to effectively manage and share ocean satellite data. GIS services have become an important technology to develope spatial data web services, and ocean satellite data are the important parts of the Earth Sciences spatial data, so GIS services can be used to ocean satellite data service systems to achieve the purpose of the data available for the public. Now mostly ocean satellite data share sites only able to provide basic services, such as data query, search, browse, order, download, for exemple, ocean satellite data services platform provide by NASA, ESA, and so on. The data services has just started and no service platform in domestic. Over the years, State Key Laboratory of Satellite Ocean Environment Dynamics of the Second Institute of Oceanography has collected and accumulated a large number of ocean satellite data. So it is urgent task to establish effective data service system for data share and application. The OSDSS not only has browsing, querying, downloading, and ordering, but also has online interactive visualization and analysis capabilities.

This paper firstly introduces the background and research current situation of ocean satellite data services at home and abroad, and then gives the research contents, key issues, technical problems to need be resolved and the structure of this paper.

Ocean satellite data service system has been developed on based of the concept and content of data services, especially ESRI spatial data service. After the



introduction of the the concept, content, technology, implementation of data services and spatial data service, we elaborate the four-layer architecture of the OSDSS based on service-oriented architecture (SOA).

Ocean satellite data have characteristic of large volumes, complex sources, variety levels and formats, so we firstly designed ocean satellite data model structure, and then establishment of a marine satellite database management system by use of GIS technology to unifiedly manage ocean satellite data and the other data of entry, modify, backup.

Ocean satellite data services not only include both basic data services such as data retrieval, query and download, but also include metadata services, online data visualization and online analysis service. The metadata service of ocean satellite data system can improve the efficiency of data services, and provide more efficient data share and interpretational means of ocean satellite data. The metadata standard of ocean satellite data was built on the basis of Marine Information Profile of ISO 19115(HY/T 136-2010). Ocean satellite data metadata service system has three layers architecture: data layer, service layer and user layer .Online visualization service mainly researched and developed visualization technology based on Google Earth and KML language. Here two applications to illustrate the online analysis service, such as buffer analysis, extraction and statistical of interest areas.

Finally, two typical applications are illustrated on the base of the OSDSS. The first application is the temporal and spatial variation analysis of the ocean environment, such as sea surface temperature, sea surface wind field and sea surface chlorophyll concentration in July-August, 2011 during typhoon. Another application is area extraction and calculation of the plume of the world major large river by use of the world's salinity data.

Keywords: oceanic satellites, metadata data services, on-line visualization, web service, geographic information systems (GIS)



目 次

致谢	I
摘要	I
Abstract	III
目次	V
图表索引	IX
1. 绪论	1
1.1 研究背景	1
1.1.1 海洋卫星数据	2
1.1.2 web Service 与 SOA	3
1.1.3 GIS 系统到 GIS 服务	6
1.1.4 研究背景小结	8
1.2 研究现状	9
1.2.1 国外海洋卫星数据服务的现状	9
1.2.1.1 NASA 的 Giovanni	10
1.2.1.2 欧洲的 Myocean	12
1.2.2 中国海洋卫星数据服务现状	14
1.2.3 研究现状小结	16
1.3 本文的研究内容、关键问题	17
1.3.1 本文的研究内容	17
1.3.2 关键问题	18
1.4 本文结构	18
2. 海洋卫星数据服务的技术	20
2.1 数据服务	20
2.1.1 数据服务的概念	20
2.1.2 数据服务的内容	22
2.1.3 数据服务的关键技术	23



2.1.4 数据服务的实现.....	25
2.2 空间数据服务.....	27
2.2.1 ISO 空间数据服务.....	27
2.2.2 OGC 地理空间数据信息服务	28
2.2.3 ESRI 的空间数据服务.....	29
2.2.3.1 ArcGIS Server 服务内容.....	30
2.2.3.2 ArcGIS Server 空间服务架构	31
2.2.3.3 ArcGIS Server 的网络服务	32
2.3 海洋卫星数据服务	34
2.3.1 海洋卫星数据服务系统架构.....	34
2.3.2 海洋卫星数据服务系统技术路线.....	35
2.4 本章小结	37
3. 海洋卫星数据模型及数据库	39
3.1 海洋卫星数据的时空特性	39
3.2 海洋数据模型研究现状	41
3.3 海洋卫星数据服务系统-OSDSS 的数据模型.....	45
3.4 海洋卫星数据库设计与开发.....	50
3.5 海洋卫星数据库子服务系统.....	53
3.6 本章小结	54
4. 海洋卫星数据服务内容	56
4.1 数据的基本服务.....	57
4.2 元数据服务	58
4.2.1 元数据的概念.....	59
4.2.2 元数据的标准.....	60
4.2.3 海洋卫星元数据内容及框架.....	61
4.3 数据的可视化服务	64
4.3.1 海洋水色水温数据可视化	66
4.3.2 海洋风场数据可视化	67
4.3.3 其他数据可视化	69



4.4 多源数据综合可视化	70
4.5 数据统计及分析服务	72
4.6 本章小结	72
5. 应用实例	74
5.1 数据服务系统在台风研究中的应用	75
5.1.1 台风对海洋环境的影响	75
5.1.2 GIS 技术在台风案例中的应用	77
5.1.3 研究区域	78
5.1.4 台风数据	79
5.1.5 海洋卫星数据	80
5.1.5.1 风场数据	80
5.1.5.2 海表温度数据	81
5.1.5.3 Aqua/ MODIS 叶绿素浓度数据	86
5.1.6 台风期间海洋卫星参数的时空变化	88
5.2 全球大河冲淡水面积的提取及其在碳通量计算中的应用	93
5.2.1 河流冲淡水	93
5.2.2 河流冲淡水区域提取方法的研究进展	94
5.2.3 数据和方法	95
5.2.3.1 基础地理数据	96
5.2.3.2 盐度数据	96
5.2.3.3 河流数据	98
5.2.3.4 河流冲淡水区域的确定	98
5.2.4 结果与讨论	101
5.2.4.1 与前人研究的比较	101
5.2.4.2 河流冲淡水的面积	104
5.2.4.3 河流冲淡水面积的变化	107
5.2.5 河流冲淡水的面积在海气 CO ₂ 通量估算中的应用	114
5.2.5.1 陆架海海域海气 CO ₂ 通量	114
5.2.5.2 全球主要大河河流冲淡水海域海-气 CO ₂ 通量估算	114



5.3 本章小结	115
6. 总结和展望	116
6.1 主要研究内容总结	116
6.2 研究的创新点	117
6.3 存在不足与研究展望	118
参考文献:	119
附表 1 大河在不同盐度阈值下冲淡水的面积	128
附图 1 大河冲淡水区域的月平均变化图	136
攻读博士期间发表的论文	142



图表索引

表清单

表 1.1 中国的海洋卫星	2
表 1.2 SOA 与 Web Service 对照表	5
表 1.3 定制类地理信息服务与门户类地理信息服务	8
表 1.4 Giovanni 系统在科技文献中的应用统计	12
表 2.1 ArcGIS 资源与 ArcGIS Server 中的服务	31
表 3.1 海洋水色遥感 L3 级产品类型表	52
表 3.2 海洋水色遥感 L3 级产品文件表	52
表 4.1 四种常用空间数据元数据	60
表 4.2 四种涉海元数据的内容及特点	60
表 4.3 海洋卫星元数据的主要内容及对应的 XML 元素	62
表 4.4 风场模板	68
表 5.1 热带气旋等级划分表	76
表 5.2 台风在不同海区的叶绿素浓度变化的统计结果	89
表 5.3 台风在不同海区的最大风速的统计结果	90
表 5.4 台风在不同海区的温度变化的统计结果	92
表 5.5 全球主要大河径流量排名	101
表 5.6 WOA09 盐度数据得出的 5 个大洋海洋表面盐度平均值	102
表 5.7 全球主要大河冲淡水的面积值	103
表 5.8 全球陆架海的面积及海-气 CO ₂ 通量	104
表 5.9 全球 19 条大河冲淡水的面积按大洋统计的结果	105
表 5.10 全球 19 条大河冲淡水面积按纬度带统计的结果	105



图清单

图 1.1 SOA 基本架构模型	6
图 1.2 GES DISC 的 Giovanni 网站	11
图 1.3 Giovanni 的系统架构	11
图 1.4 Myocean 网站	13
图 1.5 数字海洋公众版	14
图 1.6 海洋水色水温卫星遥感处理流程	16
图 2.1 “数据服务单元”的本体描述模型.....	21
图 2.2 数据服务和数据集成其他模块的关系.....	23
图 2.3 Web Service 体系架构	24
图 2.4 基于数据服务的数据访问方式	26
图 2.5 数据服务的 SOA 架构	27
图 2.6 OGC 空间信息服务分类	29
图 2.7 开放空间数据网络服务的体系架构	30
图 2.8 ArcGIS Server 空间数据服务体系架构	32
图 2.9 面向服务的海洋卫星数据服务系统四层架构	35
图 2.10 海洋卫星数据服务技术路线框架	36
图 3.1 ArcMDM 中的通用海洋数据模型	44
图 3.2 海洋数据模型的总的 UML 组织结构图	46
图 3.3 海洋数据模型中特征点模型的 UML 组织结构图	46
图 3.4 海洋数据模型中特征线模型 UML 组织结构图	47
图 3.5 海洋数据模型中特征面模型的 UML 组织结构图	48
图 3.6 海洋数据模型中网格模型的 UML 组织结构图	49
图 3.7 海洋卫星数据入库的 UML 图	49
图 3.8 海洋卫星数据库管理系统部署	53
图 3.9 海洋卫星数据库管理系统用户界面	54
图 4.1 一些海洋卫星数据的网站页面	56
图 4.2 南海物理海洋数据服务系统	57
图 4.3 海洋卫星数据服务网站界面	57



图 4.4 海洋卫星元数据包的概念结构	62
图 4.5 海洋卫星元数据 XML 表结构	62
图 4.6 海洋卫星元数据服务体系结构	63
图 4.7 海洋卫星元数据服务系统用户界面及元数据查询界面	63
图 4.8 树结构图	65
图 4.9 海洋卫星数据服务网站界面	66
图 4.10 海洋卫星水色水温数据可视化	67
图 4.11 海洋卫星风场数据可视化	68
图 4.12 CloudSat 数据可视化	69
图 4.13 实测数据	70
图 4.14 莫拉克台风期间 L3 级叶绿素浓度数据、CloudSat 的云垂直剖面数据、QuikSCAT 风场数据的综合可视化	71
图 4.15 莫拉克台风期间 TRMM 降雨量数据、CloudSat 的云垂直剖面数据、QuikSCAT 风场数据的综合可视化	72
图 5.1 海洋卫星数据服务应用流程	74
图 5.2 台风预报服务产品	77
图 5.3 研究区域划分	79
图 5.4 台风梅花的路径信息	80
图 5.5 Ascat 风场数据	83
图 5.6 AMSER 海表温度数据	86
图 5.7 MODIS 叶绿素浓度 (CHL) 数据	88
图 5.8 台风梅花过境海域每日最大风速	90
图 5.9 台风梅花过境海域每日温度	91
图 5.10 台风梅花过境海域每日平均叶绿素浓度	92
图 5.11 海洋卫星数据分析服务应用界面	94
图 5.12 WOAselect 网站界面	97
图 5.13 来自 WOA09 盐度数据集的全球月平均海表盐度分布图	99
图 5.14 中国东海、南海盐度数据	100
图 5.15 全球 19 条大河冲淡水区域 12 各月的平面分布	111



图 5.16 大河冲淡水面积的月平均变化	112
图 5.17 主要大河流量的月平均变化	113
图 5.18 河流的面积随盐度变化	113



1. 绪论

地球表面的 71% 覆盖着海洋，大气层约有 84% 的水分来自海洋，海洋对全球的水循环、气候、经济等都有着非常重要的意义。世界上许多国家都制定了自己的海洋立体观测系统计划，其中海洋卫星遥感观测技术可以对全球范围内的海洋进行准实时的、全方位的监测，并能够获取长期、稳定、可靠的多种海洋参数的观测资料，这些观测资料为人类开发、利用、保护海洋提供了重要的信息。目前海洋遥感已经在海洋灾害监测，例如海上台风监测、海洋赤潮监测、海冰监测、溢油监测等方面发挥着重要作用，此外海洋遥感在海岛海岸带调查方面也发挥着重要的作用。

由于海洋卫星遥感资料来源于不同的卫星、不同的数据处理和数据分发组织、部门，因此各类海洋卫星数据都各自有一套相对独立的数据处理流程，使得多源的海洋卫星数据不仅仅是表征的物理量不一样，而且数据格式、表现形式也不相同。甚至即使是表征的相同的海洋参数，由于来源不同，数据之间也存在格式、语义上的差异。因为存在这些不同和差异，如果要综合使用这些数据，用户需要查找、收集、下载、理解并处理这些数据，往往需要花费大量的时间和精力。这种各自独立的数据服务方式已成为卫星遥感数据共享使用和推广应用的瓶颈，为了解决这一问题，多源统一的数据服务的研究则显得越来越重要。

1.1 研究背景

1960 年第一颗遥感卫星发射成功以来，卫星海洋遥感已经从最初的探索阶段发展到目前的广泛应用阶段，海洋卫星遥感技术已经在海洋领域的各个方面发挥着越来越重要的作用。同时，随着计算机技术的不断发展，卫星遥感数据的处理技术也已从最初的简单处理，发展到现在的基于网络，并综合 GIS 等技术的综合处理和服务模式。中国国家海洋局已经进行了“数字海洋”系统的建设，海洋卫星遥感数据作为数字海洋的重要数据来源，其处理，分发与应用在数字海洋系统的建设中都是极其重要的。但是，目前海洋卫星遥感数据大都是由各海洋卫星数据处理部门管理，并没有面向公众公开。为了使这些数据发挥更大的效用，研究如何提供有效的海洋卫星数据服务是必不可少的，也是迫切需要的。



1.1.1 海洋卫星数据

1978年6月22日美国发射了世界上第一颗海洋卫星 Seasat，上面搭载了世界上第一台星载水色扫描仪——CZCS (coastal zone color scanner) (潘德炉和白雁, 2008)，随后俄罗斯、日本、法国、中国等相继发射了各自的海洋卫星，成立了相应的海洋卫星数据处理中心。中国在2002年5月15日，成功发射了第一颗自主研发的海洋水色卫星(HY-1A)，而后在2007年4月11日成功发射了第二颗海洋水色卫星(HY-1B)(车志胜, 2009)。海洋二号(HY-2A)是海洋动力卫星，2011年8月16日在太原卫星发射中心成功发射，主要用于探测海面风场、温度场、海面高度、浪场、流场等海洋动力环境卫星。此外，中国还将继续发射其他的海洋卫星，具体的发展计划如表1.1所示。

各国发射的海洋卫星种类较多，按用途可分为海洋水色卫星、海洋动力环境卫星和海洋综合探测卫星；按观测对象可分为：水色遥感卫星、海面温度遥感卫星、浪高和海浪谱卫星、海面高度海流卫星、海冰卫星、冰盖高度卫星、重力、磁力和地球动力学卫星、海面风场卫星、海洋盐度卫星等。经过多年的发展，目前国内外的各个海洋卫星数据处理中心已经积累了大量的海洋卫星遥感数据。这些数据为人类了解海洋环境提供可靠的，持续的数据支持。通过综合分析多年的海洋卫星遥感数据产品及其他数据来对海洋环流、气候变化(ENSO、PDO等)以及海洋中尺度过程等进行研究，具有重要意义。

表 1.1 中国的海洋卫星 (贺明霞等, 2011)

	2002	2007	2011	2012	2013	2015	2017	2019
HY-1	HY-1A	HY-1B	HY-1C/D		HY-1E/F		HY-1G/H	
HY-2			HY-2A	HY-2B		HY-2C		HY-2D
HY-3				HY-3A			HY-3B	

为了处理和分发遥感数据产品，美国NASA(National Aeronautics and Space Administration)成立了12个数据中心，分别是：(1)ASF(Alaska Satellite Facility SAR Data Center), (2)CDDIS(Crustal Dynamics Data Information System), (3)GHRC(Global Hydrology Resource Center), (4)GES DISC(Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center), (5)LPD AAC(Land Processes DAAC), (6)MODAPS LAADS(Level 1 Atmosphere Archive and Distribution System), (7)LaRC ASDC(NASA Langley Research Center Atmospheric Science Data Center), (8)NSIDC DAAC(National Snow and Ice Data Center DAAC), (9)ORNL DAAC(Oak Ridge National Laboratory DAAC), (10)Ocean



Biology Processing Group, (11) PO DAAC (Physical Oceanography), (12) SEDAC (Socioeconomic Data and Applications Data Center)。其中 Ocean Biology Processing Group 和 PO DAAC 主要负责海洋卫星数据的处理和分发，前者主要处理和分发海洋水色以及生物相关的卫星数据产品，包括海洋水色（叶绿素浓度等），生物地球，海表温度等数据。而后者主要处理和分发海洋表面温度(Sea Surface Temperature)、海洋风场(Ocean Wind)、海洋环流与洋流(Circulation and Currents)以及地形与重力(Topography and Gravity)等卫星数据。另外其他的数据中心也提供一部分与海洋有关的数据。

中国的卫星遥感数据处理与分发机构主要是中国遥感卫星地面站，而海洋卫星遥感数据处理与分发主要由海洋卫星地面应用系统完成。海洋卫星地面应用系统包括北京卫星地面接收站、三亚卫星地面接收站、牡丹江卫星地面接收站和北京数据处理中心。其中，地面接收站主要用于接收中国海洋一号卫星 HY-1A/B 和海洋二号卫星 HY-2A 卫星的数据，同时也可接收美国 TERRA/AQUA 卫星的数据。数据处理中心则完成多种产品制作、海量数据存档、快速网络分发等功能。海洋卫星地面应用系统又可以细分为接收预处理、资料处理、产品存档与分发、资料应用示范、辐射校正、真实性检验、通信和运行子系统。其中接收预处理分系统将北京、三亚、牡丹江三个卫星地面接收站，接收 HY-1A/B、HY-2A 等卫星的数据处理生成 0 级、1 级产品；资料处理分系统在 0 级、1 级产品基础上制作 2 级和 3 级产品；产品存档与分发子系统负责海洋卫星各级产品的存档和管理，通过数据库查询、检索和文件管理系统向用户提供服务。各分系统内部互相协调配合，外部与航天工程部分和卫星测控中心设有通信接口，共同完成从卫星业务测控到数据接收、处理、存档与分发的整个业务流程。目前，海洋 HY-1A/B、HY-2A 卫星数据，用户可以从国家卫星海洋应用中心申请获得 (<http://www.nsoas.gov.cn/gy/channel/default.asp>)。

1.1.2 web Service 与 SOA

海洋卫星数据的处理与分发都离不开网络，而为了进一步提供海洋卫星数据的服务的深度与广度更是离不开网络服务 (web service)。而目前基于网络的数据服务系统的构建通常采用面向服务的体系架构-SOA (Service Oriented Architecture) 来实现的。

关于网络服务-Web Service 的概念，目前也有以下的几种：UDDI Tidweil (2001) 认为 Web Service 是一种新的自适应、自我描述、模块化的网络应用程序，可以跨越网络进行



发布, 定位和调用; Universal Description(Discovery and Integration) (2001)对 Web Service 的定义是网络服务是自包含的、模块化的业务化应用, 具有开放性, 并面向互联网, 具有标准的接口; Tsalgatidou 等 (2002)则认为, Web Service 是一种应用, 它通过网络, 为商业实体和个人用户提供了一套自包含的、模块化的应用功能; W3C (2004b)将 Web Services 定义为一个软件系统, 这个软件系统支持网络上的互操作, 它使用计算机可处理的语言(例如 WSDL)进行描述, 使用消息(例如 SOAP)进行交互, 通过网络协议(例如 HTTP 协议)和其他网络标准(例如 XML)进行传递; Loosely Coupled 则定义 Web Service 是一种自动化的资源, 是软件驱动的资源或功能组件, 通过 Internet 访问的, 在某一 Internet URI 访问这些资源或组件时提供相应的服务功能。虽然这些定义表面上看起来不尽相同, 但本质上都给出了 Web Service 的主要特征: 松散耦合, 封装特性, 互操作性, 标准规范性, 普遍性, 易实现性, 高度的可集成性 (柴晓路等, 2003; 刘峰, 2007; 杨岚, 2008)。总的来说 Web Services 主要是为了实现不同的硬件平台之间(例如计算机与计算机之间)的互操作, 其目标是要解决分布式异构平台之间应用集成问题。

随着 Web Service 的发展, 一种新的软件体系架构也因此发展起来了, 它就是面向服务的架构-SOA (Service Oriented Architecture) (Papazoglou et al, 2004)。SOA 最早是由 Gartner 公司在 1996 年的一份报告中正式提出 (Roy and Yefim, 1996), 经过十多年的发展, SOA 已经成为在异构网络环境下构造集成化分布式信息系统的最佳选择 (唐秀良, 2009)。但是, SOA 的概念目前仍没有统一的定义, 主要有以下几个版本: Gartner 认为 SOA 是一种更为强调软件组合的松散耦合和独立的标准接口的客户端/服务器的软件设计方法 (凌晓东, 2007); W3C¹则认为 SOA 是分布式系统体系结构的一种形式, 一般具有逻辑视图、面向消息、面向描述、服务粒度、面向网络、平台无关的属性; Loosely Coupled² 认为 SOA 是一种按需连接资源的系统架构; Service-architecture³则认为 SOA 是服务的集合, 这些服务可以是简单的数据传输, 也可以是多个服务协调完成的某项任务; High 等 (2005)认为 SOA 是一种 IT 体系结构样式, 利用了面向服务的原则, 使信息系统之间具有更为紧密的关系。尽管这些概念不尽相同, 但是作为一种新兴的软件工程实践的方法(朱

¹ <http://www.w3.org/TR/ws-arch/>

² <http://looselycoupled.co-m/glossary/SOA>

³ http://www.service-architecture.com/web-services/articles/service-oriented_architecture_soa_definition.html



振杰, 2006), SOA 具有以下的特点: 可重用性, 契约性, 松散耦合性, 自包含性, 可组合性, 自治性, 无状态性, 可发现性, 透明性, 以及可以改善服务质量的特性 (Erl, 2005a; 刘峰, 2007)。

表 1.2 SOA 与 Web Service 对照表 (Erl, 2005b; 许欢, 2009)

SOA	Web Service
服务的可重用性	Web Service 并非自动实现可重用性, 这一特性与网络服务所封装和提供的业务逻辑的类型有关
服务的契约	Web Service 要求使用服务描述, 这使得服务契约成为 Web Service 通信的最基本组成部分
服务的松散耦合	Web Service 通过使用服务描述天生就是松散耦合的
服务的自包含性	Web Service 在通信框架中自动模拟了“黑盒”模型, 隐藏了底层业务逻辑实现的细节
服务的可组合性	Web Service 天生是可组合的, 然而其所支持组合的程度通常由服务设计和所表达业务逻辑的可重用性决定
服务的自治性	Web Service 并没有自动提供自治性, 需要通过良好的设计以确保实现自治处理环境
服务的无状态性	无状态特性是 Web Service 的首要条件, 并受到许多 Web Service 规范和文档样式的 SOAP 消息传输模型地有力支持
服务的可发现性	可发现性必须由体系架构来实现, 甚至可以被认为是对 IT 基础设施的扩展, 因此 Web Service 生来并没有提供支持。(UDDI 也仅仅初步解决了服务的发现问题)

Web Service 与 SOA 有许多相同的特点, 以至于有人认为 SOA 就是网络服务。那么 Web Service 与 SOA 的有什么关系呢? 何珍祥等 (2009) 认为 SOA 的服务仍然是靠传统软件技术去实现, 只是在具体的程序实现基础上抽象出一层描述层, 将具体的实现与描述隔离开来, 使业务人员和部分设计人员能够在该层进行高度抽象的设计。 Lublinsky (2007) 认为理解 SOA 的关键是在字母 “A” 上, 即 SOA 是一种系统或者体系架构, 而 Web Service 则是一种基于标准规范的技术。因此 SOA 显然不能等同于 Web Service, 只是 Web Service 的多数特点是构建 SOA 架构所需要的。通过表 1.2 SOA 与 Web Service 的关系的比较, 可以看出 Web Services 虽不是实现 SOA 的唯一技术手段, 但是到目前为止, Web Services 却是最适合实现 SOA 的技术手段。另外, SOA 之所以成为当前 IT 业界的焦点, 在很大程度上也归功于 Web Service 标准体系的成熟和应用的普及, 为广泛的实现 SOA 架构提供了基础 (许欢, 2009)。利用 SOA 来构建基于网络的服务, 不仅可以提高效率和利于重用, 而且可以增加服务系统的机动性和灵活性, 降低系统的集成成本。

图 1.1 是 SOA 的基本架构模型, 模型中的服务消费者可以通过发送消息来调用服务, 服务总线将这些消息转换后发送给适当的服务进行实现, 并将结果返回给服务消费者。这



种服务架构提供了一个业务规则引擎，该引擎容许业务规则被合并在一个或多个服务里，同时这种架构也提供了一个服务管理基础，用来管理服务。WSDL、UDDI 和 SOAP 是 SOA 基础的基础部件。WSDL 用来描述服务，UDDI 用来注册和查找服务，而 SOAP 作为传输层，用来在消费者和服务提供者之间传送消息。服务消费者可以在 UDDI 注册表（registry）查找服务，取得服务的 WSDL 描述，然后通过 SOAP 来调用服务。

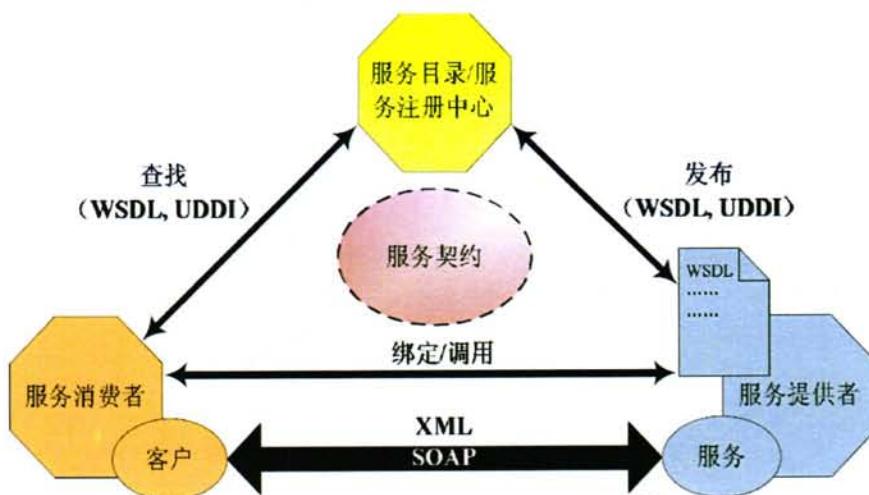


图 1.1 SOA 基本架构模型

目前，海洋卫星数据分布在不同地区、不同种类的操作系统中，所提供的数据服务也是多种多样，所使用的系统软件、应用软件和应用基础结构也不尽相同，某些应用系统和程序非常适合处理其中的某种业务流程，甚至为某种业务化生产服务了多年，积累了一定的基础，如果从头再建一个新的基础环境并不是一个好的选择，而 SOA 技术可以将这些已有的数据服务按照标准的网络服务协议进行集成，从而可以节约系统开发的成本。另一方面，随着遥感卫星技术的发展和用户需求的变化，遥感数据处理业务也会随之变化，为了使数据服务系统对这些变化做出快速的反应，SOA 可以利用现有的应用程序和应用基础结构通过标准接口来解决新的业务需求，为客户、数据中心和数据服务供应者提供新的互动渠道和支持有机业务的构架。

1.1.3 GIS 系统到 GIS 服务

GIS 起源于上个世纪 60 年代加拿大的计算机制图技术的发展（张光宇，Y C Lee，



1999), 当时的 Roger. F. Tomlinision (1960) 首次提出要把地图变成数字形式, 有利于利用计算机资源来对地图进行处理和分析。尽管当时的技术水平有限, 但是加拿大地理信息系统从 1963 年开始设计, 1971 年就投入运行了。GIS 到从生产到现在已经近 50 年的历史, 已经从最初作为一种用分层方式表示地理信息的软件系统 (geographic information system, GIS), 经历了关注地图代数和空间操作的地理信息科学 (geographic information science, GIS) 的阶段 (上个世纪 80, 90 年代), 发展到目前与其它专业信息系统相融合并为之提供地理或空间服务的地理信息服务 (geographic information service, GIS) 阶段。它的发展得益于各学科、各技术的发展与渗透, 尤其是制图学、遥感科学和计算机科学与技术的发展, 不同学科的交叉不断地对 GIS 提出新的需求, 促使 GIS 研究不断扩展到新的领域, 也丰富了 GIS 研究的内容。在这过程中, 计算机软件与硬件技术、网络与通讯技术、多媒体技术、虚拟现实技术、数据库技术、图形图像处理技术、网络存储技术等高新技术迅猛发展, 为 GIS 的发展提供了强大的技术支撑和各种软、硬件平台, 使 GIS 在理论体系、技术研究和应用等方面都有了长足的进步。

但是, 传统的地理信息系统也面临着一些问题 (王玉海, 2008)。首先, 随着地理信息系统在各个行业中的应用, 各个行业对地理信息系统的需求却各不相同, 但是如果每个应用都独自开发一套自己的地理信息系统则非常浪费, 因为这些系统之间是有一定的共性的; 其次, 早期的地理信息系统大都是为了解决某一特定领域的问题而研究开发的, 例如电力地理信息系统 (翁颖钧, 朱仲英, 2003; 卢娟, 李沛川, 2005) 和房产地理信息系统 (黄艳菊, 张杰林, 2007; 管建平, 邓勇伟, 2010) 等, 但是当问题领域发生变化时, 这种 GIS 软件很难在不经改动的情况下解决新的问题, 因此缺乏灵活性; 另外。用户对于地理信息数据的需求也日益增多, 但是基于网络的数据传输问题 (如安全问题等), 也日益突出, 同时, 要实现空间信息资源共享, 需要同时满足不同用户需求, 还需要借助各相关部门的个性化辅助决策支持系统。面对传统地理信息系统的这些问题, 地理信息服务可以把地理信息系统、实时空间定位技术 (GPS 和北斗)、移动无线通讯技术、计算机网络通信技术以及数据库技术等现代高新技术有机地集成在一起, 实现地理信息收集、处理、管理和传输的网络化, 为地理信息用户提供实时的、高精度的、各种比例尺的区域或全球的地理信息, 并可以对移动目标实现实时动态跟踪及导航定位服务 (王玉海, 2008)。从王玉海对地理信息服务的描述中可以看出地理信息服务极大地拓展了地理信息系统的应用空间, 将传统的地理信息系统从主要服务于政府部门拓宽到大众公共服务和个人地理信息



服务，可以随时随地为用户提供连续的、实时的和高精度的自身位置信息和周围环境信息。

表 1.3 定制类地理信息服务与门户类地理信息服务

	定制类地理信息服务	门户站点类地理信息服务
特点	提供一些定制好的相对固定功能	需要用户自己对服务资源进行聚合，构建自己的服务应用
服务器端	按客户端请求，执行聚合应用的程序，按照预定义的逻辑流程通过接口对这些粗粒度的服务依次进行调用	每次都需要根据客户的需求，从新构建服务流程，这就需要服务器端能够提供高效的服务资源的搜索和服务的重构
客户端	只能定制有限的服务功能	根据客户的需求进行灵活的服务组合
优点	任务简单，易操作	灵活，可扩展
缺点	扩展困难	缺少高效的服务搜索及处理机制
实例	FlashEarth (http://www.flashearth.com/)，Weather Bonk (http://www.weatherbonk.com) 等	MapTube(http://www.maptube.org/home.asp)，ArcsGIS.com (http://www.arcgis.com/home/index.html) 等

地理信息服务就是在空间信息传播的过程中为不同的用户提供优质的、满足需求的空间信息产品，产品的形式多样，可以是具体的数据、图形、规范和功能等。用户关心的是结果，服务提供者关心的是如何实现这些服务，并需要考虑如何将这些服务反馈给用户。所以，王玉海（2008）认为：地理信息服务就是网络环境下可运行的一组与空间信息相关的软件实体，为空间信息的用户提供一种满足某种具体需求的信息或者处理功能。王玉海的这种对地理信息服务的理解更强调了服务系统的构建问题，但本人认为地理信息服务应该更强调是资源的共享（包括数据资源和软硬件资源）以及空间有关的辅助决策和知识发现。

目前，以浏览器为客户端的地理信息服务已经不仅仅是提供单个的地理信息服务，而是多种地理信息服务的聚合产品。这些在服务器端聚合的产品可以分为两大类型（张珊，2011），一类是定制好地理信息服务聚合流程的定制类产品，另一类是提供大量地理信息服务资源的门户站点类产品。表 1.3 列出了这两类地理信息服务的比较，可以看出，定制类的地理信息服务往往是为某一目的而开发的产品，而门户类地理信息服务则更多是应用于地理信息服务中的地理信息资源共享服务。

1.1.4 研究背景小结

目前，国内外海洋卫星观测技术不断发展，海洋卫星数据及数据产品日益增多，人们



对利用海洋卫星数据的需求也日益增多，因此迫切需要对如何提供有效的海洋卫星数据服务进行研究。研究数据服务离不开网络服务-web service，而 SOA 是目前构建网络服务的重要的技术手段。同时，海洋卫星数据是空间信息数据，具有一般的空间信息的特征，因此可以利用地理信息服务（GIS 服务）技术手段来实现海洋卫星数据的服务。基于 web service 和 SOA 地理信息服务，目前也是地理信息服务研究的热点，而且已经有了一些实用化的产品。所以在此技术背景下，研究海洋卫星数据服务有可靠的技术支持。

1.2 研究现状

海洋卫星经过近 40 年的发展，目前已经积累了大量的海洋卫星的数据，有效地利用这些卫星数据，首先需要解决的问题就是如何提供高效的数据服务。目前，许多国家都已开始或是正在进行各自的海洋卫星数据服务系统的建设，本节主要从国外与国内两个方面来介绍海洋卫星数据服务系统的研究现状。

1.2.1 国外海洋卫星数据服务的现状

很多国家以及组织根据自身海洋卫星遥感应用技术的发展需要都制定或规划了海洋卫星数据的服务系统。目前能够通过网络直接提供海洋卫星数据服务的机构主要有美国国家航空航天局（NASA）、美国国家海洋和大气管理局（NOAA）、法国国家空间研究中心（CNES），欧洲太空局（ESA）以及日本国家宇宙开发事业团（NASDA）等。这些机构目前都能够提供数据查询、数据介绍、数据浏览、数据订购和下载等基本的数据服务。但是随着数据量的增加以及对海洋现象长时间变化研究的需求的增加，仅仅提供这些基本的数据服务已经无法满足海洋科学研究与应用的需求。为了节省客户数据下载以及数据处理的时间与精力，这些数据服务的提供机构和组织开始开发更为有效数据服务方式，例如数据更为有效的可视化技术，数据的在线分析技术等。这里主要介绍两个典型的海洋数据服务网站：一是 Giovanni⁴（Goddard Interactive Online Visualization ANd aNalysis Infrastructure）系统，它是由 NASA 的戈达德（Goddard）地球科学数据与信息服务中心

⁴ <http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/giovanni/overview/index.html>



GES-DISC (Goddard Earth Science Data and Information Services Center) 分布式数据存档中心 DAAC (Distributed Active Archive Center) 建立的基于网络的交互式在线可视化和分析基础平台；二是欧洲的 MyOcean⁵，它是全球环境与安全监测（GMES）项目中的海洋信息化服务的核心，主要是负责全球和区域的海洋监测和预报服务，目前此项目共有 29 个国家的 61 个机构共同参与建设。

1.2.1.1 NASA 的 Giovanni

美国的 NASA 的戈达德地球科学数据与信息服务中心(Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center---GES DISC)提供多个数据服务模式(Giovanni、Mirador、Wizard、OPeNDAP、GDS 等) 供用户选择。Giovanni 是其中之一，可以提供在线交互式的可分析可视化的数据服务，不需要下载数据，也不需要下载和安装任何软件，使用方便。据统计，它的应用正在逐年增加，见表 1.4。而且这个服务系统目前还在不断完善中，图 1.2 是 Giovanni 网站的首页。

图 1.2 GES DISC 的 Giovanni 网站

2012 年前 Giovanni 系统将服务按照服务对象分为四个例程 (instance): 大气例程、环

⁵ <http://www.myocean.eu/>



境例程、海洋例程和水文例程。在 2012 后 Giovanni 系统将以上四个例程的重新组合完善，发展成五个门户（portal）：大气门户、应用与教育门户、气候门户、海洋门户和水文门户。从图 1.2 可以看到，在 Giovanni 系统网站的首页，我们不仅可以按照应用领域的不同来选择服务的门户，也可以直接按照需要的卫星产品或是参数来选择相应的数据服务。目前共有 5 大门户的 161 个卫星参数产品可供选择，其中海洋卫星数据主要是在海洋门户中。海洋门户目前提供五种类型的海洋卫星数据产品服务：海洋水色月平均数据、水质月平均数据、海洋水色全球 8 天平均的产品、NASA 的海洋生物地球化学模型的日平均和月平均同化数据。

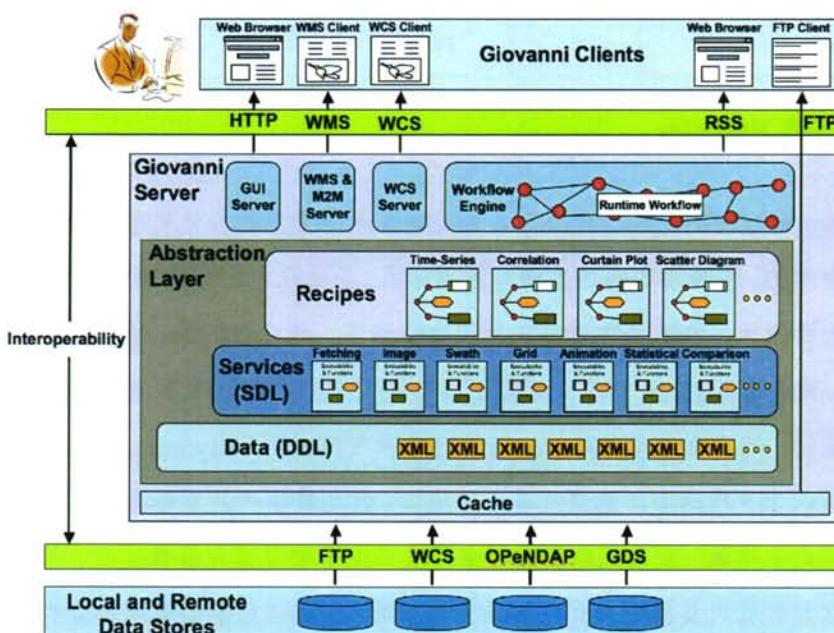


图 1.3 Giovanni 的系统架构

Giovanni 系统是基于网络、面向工作流、异步构架的管理系统，能够使本地与远程的用户透明地进行数据操作，如图 1.3 所示。面向服务的构架需要所有的过程与反演通过标准的网络服务进行通信，而标准的网络服务通信是通过标准协议，例如开源网络为数据访问协议-OPeNDAP（Open-source Network for a Data Access Protocol）、网格分析与显示数据服务协议-GrADS（Grid Analysis and Display System Data Server）来支持远程数据获取与转换的。面向服务的架构和标准访问协议加速了系统组件的复用性、模块化、标准化和模块之间的互操作性，使系统的基础设施与数据的处理与反演的逻辑算法分离，实现用户对



数据的透明操作。其次，面向工作流的管理系统能够使用户非常容易地创建、修改、保存自己的工作流程。再次，异步架构特征确保系统因处理复杂的过程而导致网络连接超时的情况下，网络服务通过 RSS (Real Simple Syndication) 及时反馈给用户相关的信息。所以，Giovanni 具有可扩展，易于使用，所以具有很高的性能。

从表 1.4 可以看出 Giovanni 系统目前地球科研方面的应用在逐年增加。Giovanni 系统可以提供在线的可视化的卫星数据的使利用卫星数据进行地学研究的工作者的工作更加有效率。

表 1.4 Giovanni 系统在科技文献中的应用统计⁶

年份	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2010
文献数	3	7	6	26	50	86	115	114

1.2.1.2 欧洲的 Myocean

Myocean⁷是欧洲的一项面向公众，为海洋监测与预报提供免费服务的项目，其宗旨是建立长期有效的，可持续的海洋监测与预测体系，正如在它的宣传册中提到的：Myocean，海洋的今天和明天。在欧共体及其成员国的支持下，该项目的第一期建设开始于 2009 年 1 月 1 日，建设周期为 39 个月⁸。目前已经具有了四大领域的数据服务功能，包括海洋安全、海洋资源、海洋和海岸带环境、天气预报和气候变化。Myocean 能够通过一个简单数据目录来提供 215 种的海洋数据及其产品服务，这些数据产品及数据服务可以应用于多个领域也包括商业领域。交互式的目录服务不仅可以查看数据元数据信息，而且能够基于网络来利用这些数据以及模型得到一些分析的结果，例如进行某些海洋现象的预测与预报等。另外，还可以对长时间序列的海洋数据进行分析，这对研究海洋在全球气候变化中的作用与影响都是非常重要的。

Myocean 不仅提供海洋卫星数据服务，还提供其他海洋数据的服务。Myocean 提供温度、盐度、海流、海冰、海洋初级生产力等海洋参数的数据产品的服务。图 1.4 是 Myocean

⁶ 来源于数据 <http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/giovanni/additional/publications>

⁷ <http://www.myocean.eu/>

⁸ <http://www.gmes.info/pages-principales/projects/marine-projects/more-on-myocean/>



网站的首页，从右侧的悬浮窗中看到，如果希望得到 Myocean 的数据服务，第一次访问该网站需要注册。注册后的用户可以按照需求不同选择不同的领域，进而选择不同的海洋参数进一步搜集数据，最终找出自己需要的数据产品及资料。另外，用户也可以从主页的产品与服务（Products and Services）中的目录（Catalog）中按照给定的条件例如区域（AN AREA）、参数（A PARAMETER）和产品类型（A PRODUCT TYPE）来进行初次选择，在对给出的结果，进行进一步的筛选，最终得到自己需要的数据服务。

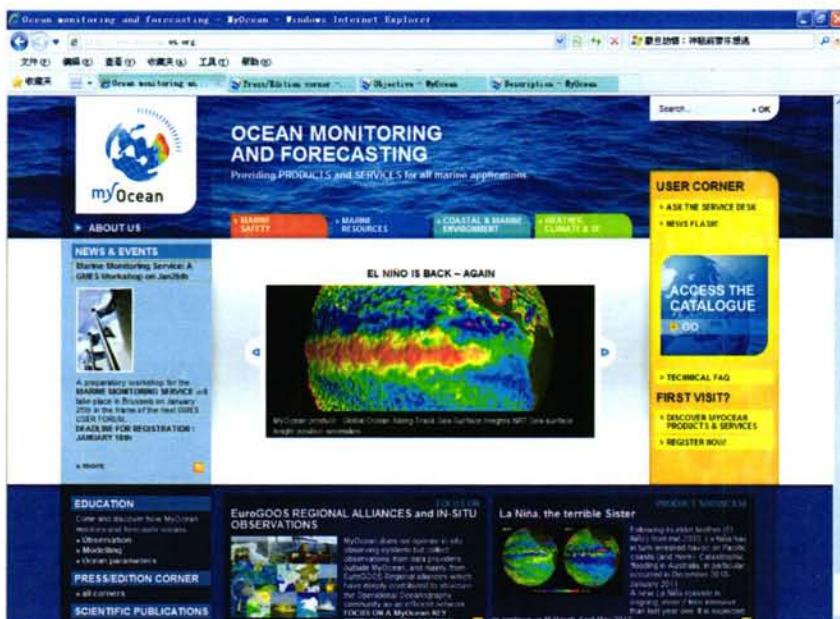


图 1.4 Myocean 网站

Myocean 二期为 Myocean²⁹项目，该项目计划开始于 2012 年 4 月 1 日，结束与 2014 年 9 月 30 日。Myocean2 的目标是在 Myocean 的基础上，为海洋安全、海洋资源、海洋与海岸带环境、天气预报与气候变化四个海洋数据应用领域的用户提供严谨的、稳定的、可靠的海洋观测和预测产品。预计在 2014 年，Myocean2 可以在 Myocean 已有的服务功能的基础上开发出一个原创的供全球环境和安全监测 -GMES (Global Monitoring for Environment and Security) 用户使用的可操作的原型系统。利用这个系统，用户可以持续

⁹http://cordis.europa.eu/search/index.cfm?fuseaction=proj.document&PJ_LANG=EN&PJ_RCN=12533467&pid=19&q=7D33B45E243BC05C85AEC57A012536AC&type=adv



获得 GMES 的服务产品。同时 Myocean 也将为海洋环境安全有关项目提供决策支持、评估与实施的信息保障，这将促进 Myocean2 在应急响应方面的应用。

1.2.2 中国海洋卫星数据服务现状

我国目前已经发射了各种气象卫星、海洋卫星、陆地观测卫星和环境与灾害监测卫星，地面接收站每天会接收大量的数据，为了有效利用这些卫星遥感数据，特别是为了扩大国产卫星遥感数据应用的范围，国家已经加强卫星遥感服务与应用体系建设，逐步形成国家统一的气象、海洋、陆地观测卫星遥感数据接收和处理的系统体系，形成卫星遥感数据共享机制，发展卫星遥感应用服务产业链，形成高质量、连续、稳定、及时的遥感数据业务服务。我国的科学数据服务，尤其是地球系统科学数据共享服务建设从 1982 年中国科学院的“科学数据库及其信息系统”项目的建设中拉开序幕，经过近 30 年的发展，目前已经建成了分布式、异构科学数据的整合集成与“一站式”共享服务系统（诸云强等，2010）。



图 1.5 数字海洋公众版

作为地球科学数据重要的组成部分，海洋科学数据共享服务早在 2004 年由国家海洋局第一海洋研究所的李安虎等人就提出，他们利用 WebGIS 技术来设计和开发了具有用户界面层、业务逻辑层、数据库层三层架构的海洋科学数据共享平台（李安虎等，2004），



实现了部分海洋科学数据共享服务。近几年有关海洋数据共享以及服务的研究和建设已经取得了不少成绩（张峰等，2009a；王显玲等，2009）。

“数字海洋”是我国建国以来规模最大的国家海洋计划之一，它的建设思想和基本思路早在1999年就由侯文峰提出（侯文峰，1999）。近年来，我国的“数字海洋”建设（张峰等，2009b；苏奋振，2006）已经建成了海洋综合管理信息系统、数字海洋原型系统、海洋数据仓库、数字海洋移动服务平台等成果，“数字海洋”公众版 iocean¹⁰已经初步实现了对我国近海海洋环境的可视化的表达，如图1.5所示。目前，我国的“数字海洋”公众版 iocean 对海洋环境可视化服务包括海洋调查观测、数字海底、海岛海岸带、海洋资源、探访极地大洋、海洋预报、海上军事、海洋科普以及虚拟海洋馆9个方面的内容，用户可以在网页上直接浏览相关的数据内容，并可以单击“图层”，选择自己感兴趣的图层进行交互可视化，界面友好且流畅。

随着我国海洋卫星遥感技术的发展，海洋卫星的数据处理能力在不断完善和提高，图1.6是我国海洋水色卫星遥感数据的处理流程，目前该流程在较少人工干预下可以基本实现对海洋卫星遥感数据自动化处理，但基于网络的、面向大众的海洋卫星数据的共享和服务还处于研究和实施中。海洋遥感数据量巨大（潘德炉等，2004），由于数据来源不同，导致数据种类和数据格式也不尽相同，导致海洋卫星数据在网络上共享存在较大困难（赵艳玲等，2005；滕龙妹等，2008）。海洋二所的赵艳玲等开发设计了一个基于Web的海洋卫星遥感数据产品查询和发布系统。浙江大学的滕龙妹等提出了一种面向海洋遥感数据的一体化管理方法，可以对海洋卫星遥感数据进行自动批量入库、批量远程分发和可视化。

“数字海洋”公众版是基于Skyline的具有某些GIS功能的海洋信息服务系统，但是除了提供可视化的服务功能以外，其他的服务（如数据检索、查询、订购、下载以及分析等）都还不完善，距离用户对海洋数据服务的需求仍有一定的差距。

我国海洋卫星遥感数据服务的目的是通过提供数据服务，加强我国海洋卫星遥感数据在海洋、环境、减灾、气候变化等领域应用，进而促进我国自主卫星遥感数据的商业应用和国际市场服务。

¹⁰ <http://www.iocean.net.cn/>

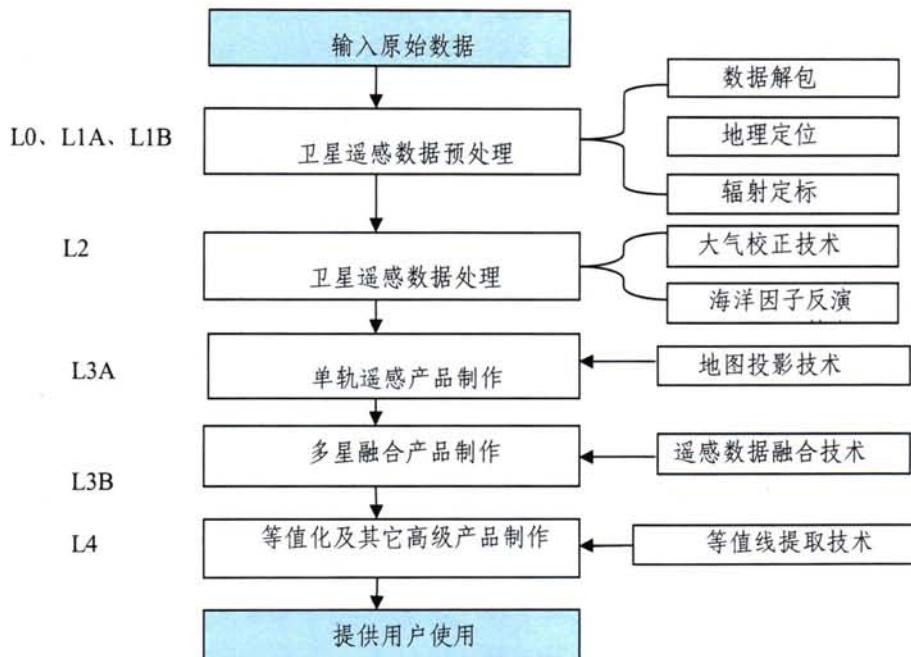


图 1.6 海洋水色水温卫星遥感处理流程 (何贤强, 2010)

1.2.3 研究现状小结

国外，尤其是美国和欧洲，由于海洋卫星数据服务的研究开始的比较早，所以目前已经建立起了比较实用的海洋卫星数据服务体系。例如美国 NASA 的 Giovanni 系统的海洋门户网站和欧洲的 Myocean。Giovanni 不仅可以在线查询、浏览海洋遥感数据产品，还可以在线对数据进行长时间序列分析等操作，实现了海洋遥感数据的在线可视化与可分析。但是它只能针对 NASA 的遥感数据按照系统预先设定的步骤与参数来对数据进行类似工作流的处理流程，而且也只能针对某一类具体的数据产品进行分析处理，多源数据的综合查询、检索与分析功能有待完善。Myocean 目前可以通过简单的目录服务在线查找和查看用户所需的海洋卫星数据产品，但是数据集成可视化和综合分析还有待于进一步完善。尽管我国的海洋卫星数据服务起步较晚，但是随着海洋卫星数据的不断积累，人们对海洋卫星遥感数据的需求日益增加，伴随“数字海洋”的建设和不断完善，发展迅速。



1.3 本文的研究内容、关键问题

随着海洋卫星遥感技术的不断发展，目前已经积累了大量的海洋卫星遥感数据产品，另一方面随着海洋探索和开发的不断深入，人们需要通过海洋卫星遥感来监测和探测海洋环境信息，并用海洋卫星遥感数据来探究海洋中各种现象的规律。但是由于海洋卫星数据存在着数据量大，数据处理复杂等原因，人们需要花费大量的时间和精力做基础的数据处理工作。为了节省人们在数据处理方面所花费的时间和精力，进一步扩展海洋卫星数据应用领域，本文提出了基于 Web 的海洋卫星数据服务系统的研究与开发。

1.3.1 本文的研究内容

为了实现基于 Web 的海洋卫星数据服务，本文的研究内容主要有以下几个方面：

- 1) 研究实现海洋卫星数据服务的相关技术问题，主要是空间数据服务相关的内容及技术问题；
- 2) 研究并建立符合海洋卫星数据的时空特性的数据模型，并基于此模型开发海洋卫星数据库管理系统，将以往以文件形式管理的数据，用数据库进行更有效的管理；
- 3) 研究开发海洋卫星数据元数据管理系统，提高海洋卫星遥感数据服务系统的数据查询与检索效率；
- 4) 研究开发基于 web 的数据基本服务系统，此系统可以提供传统的、基本的数据服务，包括数据的在线查询，处理，检索和下载等服务；
- 5) 研究开发基于 web 的海洋卫星数据的可视化及多源数据集成系统，主要的数据有海洋水色水温数据、海洋表面风场数据以及与实测数据的综合显示和分析；
- 6) 研究开发基于 web 海洋卫星遥感数据与其他数据综合分析与空间统计分析服务，实现在线分析。
- 7) 将基于 web 的海洋卫星数据服务系统-OSDSS 应用于（1）台风过境时海洋上层空间的各种海洋环境参数的时空变换情况的分析；（2）全球大河冲淡水面积的提取及在碳通量估算的应用。



1.3.2 关键问题

为实现以上的研究内容，本文需要解决以下几个关键问题：

- 1) 首先设计海洋卫星数据的数据模型，在此基础上开发海洋卫星数据库管理系统，将各类海洋卫星数据转入数据库中进行更有效的管理。这就需要对多源数据有充分的认识和了解，包括对数据的物理意义、数据来源、数据格式、数据的使用情况等有深入的了解；
- 2) 了解各种元数据标准，本研究主要是参照《海洋信息元数据标准》(ISO 19115 专用标准)，并根据海洋卫星遥感数据自身的特点，对其进行删减和扩充。在此基础上开发多源海洋卫星数据的元数据管理系统，使用户更加有效地利用海洋卫星数据；
- 3) 研究 Google Earth API 技术以及 KML 语言规范，实现多源海洋卫星数据及其他数据在 Google Earth 上展示的技术；
- 4) 研究 GIS 服务技术，实现多源数据的空间分析功能，尤其是空间分析服务在台风期间海洋参数的时空变化和冲淡水面积计算中的应用。

1.4 本文结构

本文研究的基于 Web 的海洋卫星数据服务系统-OSDSS 是一个基于 SOA 的四层架构，因此论文结构大体也是根据系统架构来进行安排，具体如下：

第 1 章主要介绍本文的研究背景、研究现状、以及研究内容和需要解决的关键问题，以及本文的组织结构。

第 2 章主要介绍了数据服务以及空间数据服务的概念、内容、关键技术和服务的实现。

第 3 章在介绍海洋卫星数据的时空特性的基础上，提出了建立海洋卫星数据模型和海洋卫星数据库，并介绍了海洋卫星数据管理系统研究和开发的基本情况。

第 4 章主要介绍了海洋卫星数据服务系统-OSDSS 提供的各类服务，主要分为数据基本服务、元数据服务、可视化服务、统计及分析服务四个部分，详细地介绍了海洋卫星元数据系统和海洋卫星数据的可视化服务的技术及其实现。

第 5 章主要是介绍了利用海洋卫星数据服务系统-OSDSS 的两个应用实例，一个是台风过境时海表温度、海表叶绿素浓度等海洋环境参数的时空变化，另一个是利用全球的气



候态盐度数据来提取全球主要大河的冲淡水的区域，并对其面积进行统计。

第6章对本论文的主要的研究内容进行了总结，阐明论文的创新点，提出论文的不足和进一步研究展望。



2. 数据服务与海洋卫星数据服务

2.1 数据服务

数据服务有利于对数据源的数据进行有效的管理，可以有效降低数据源变更所带来的系统更新和维护的代价，还便于用户对数据源的数据动态发现，透明获取，所以有关数据服务的研究越来越成为研究的热点问题。

2.1.1 数据服务的概念

数据服务的观点来源于将数据当作服务（data as a service）提供给用户，传统的 web 服务是通过封装应用程序访问数据，而数据服务则是直接对底层数据进行封装（蔡海尼等，2009）。

随着计算机网络技术的发展，尤其是 web service 技术的发展，数据服务已经在各行各业，尤其是在科研教育领域内得到了一定的发展，但是在不同的领域内或数据服务的实现中，数据服务的含义却存在较大的区别。现阶段，数据服务还没有统一的定义，但是大部分的观念都认为数据服务是能够通过网络实现数据的管理、访问、集成、共享、互操作、信息提取等功能的服务（沙一鸣，尤晋元，1997；谢兴生，庄镇泉，2009）。随着技术与需求的不断发展，数据服务的内容和形式也越来越多种多样。

Manu M R (2005) 和 Richard Manning (2007) 认为数据服务是随着面向服务的架构——SOA (Service Oriented Architecture) 技术的发展而发展起来的，尤其是数据服务层作为 SOA 架构的重要组成部分在数据集成、共享等相关领域有着非常重要的作用。蒋军 (2007)认为数据服务可以看作是数据集成平台中具有特定功能和结构的自包含、自描述、可复用的功能模块。在 SOA 架构中，数据服务层通过提供标准的 API 接口来提供数据服务。而另一方面，数据集成平台可以为数据服务发布 Web 服务接口，使集成的数据能够被不同网络应用所共享。

对于数据管理者而言，网络时代的数据管理已经不同于传统的数据库管理。传统的数据管理主要集中于数据库的管理，即对数据本身的管理，并基于 Client/Server 模式和数据库进行相关的数据应用开发。同时，基于安全的考虑会使用专用驱动程序和数据通讯协议，



但是这种程序和协议很难与 Internet 的协议进行通讯，导致传统的数据库应用程序很难在 Internet 上使用。所以，对于数据管理者而言，互联网时代他们的主要任务就是将数据封装成能够在互联网上通信的服务，并对这些服务及支持这些服务的数据进行有效的管理和维护，正如 Sybase 公司的宋一平所说“今天的数据管理已经不再是传统的数据库管理了，因为企业现在需要的已经不仅仅是对数据本身的管理，更重要的是对数据的服务的管理”（田梦，2007）。

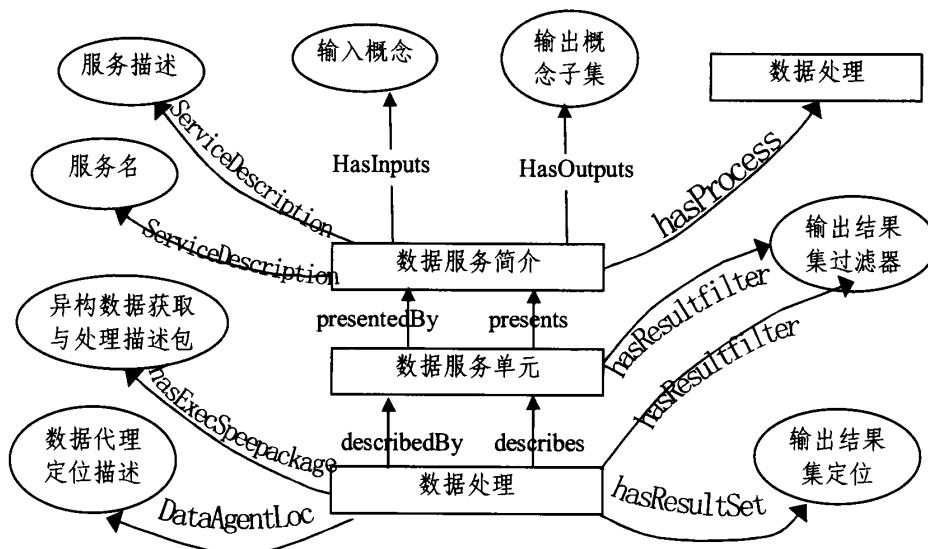


图 2.1 “数据服务单元”的本体描述模型（谢兴生，2009）

谢兴生（2007）认为要让被动数据源主动对外服务，一般需要借助一个被称为数据源“本地数据服务代理”的对象来实现，简称源代理。它是数据源所属网络节点或局域网上一个可独立运行的服务对象，至少能够具备以下两个功能：(1)能够根据本地数据源的“特性和能力”，主动对外发布数据服务；(2)当外界根据源代理已发布的数据服务信息，向源代理发出指定服务请求时，源代理能够从由它代理的数据源中提取出相关的数据，并能根据外界数据标准进行一定的规范变换，然后提交给外界请求对象。具体的方法是将每个“异构数据获取与处理描述包”封装为一个数据服务单元，这样就可以将局域网范围内一个或是多个数据源，抽象为一组数据服务单元，其中每个数据服务单元相当于针对数据源的一个预处理查询，不仅可以被执行，而且可以对外发布。图 2.1 是谢兴生（2009）设计



的一套描述“数据服务单元”的本体描述模型，它主要包括单元对外发布的服务简介信息和与单元执行有关的数据处理信息两部分。其中，.服务简介信息包括服务名、服务描述、一组输入特征参数，每个参数对应领域本体中的一个概念，输出参数集本质上就是 DS-cell 的输出数据项名集；数据处理信息则包括一个“异构数据获取与处理描述包”以及可执行该描述包的“数据代理”定位信息。

张延松等（2008）认为数据服务是面向数据库访问的 Web Service，具有 XML 访问接口与 XML 格式的数据访问结果集。温彦等（2012）认为，传统的数据集成方法缺乏一个统一的数据模型和查询方法来即时、动态地获取互联网上的数据，为了弥补这一缺陷，引入了数据服务的概念。利用服务的形式对网络上的数据源加以封装，从而屏蔽了对数据源的未知性和动态性，并且给出数据服务的定义如下：数据服务（data service，即：ds）是一个四元组 $ds=<\text{uri}, \text{dataSchema}, \text{operations}=\{\text{operation}\}, \text{metadatas}=\{\text{metadata}\}>$ ，其中 uri 是数据服务的唯一标识，dataSchema 为数据服务所封装的业务数据的数据模式，operations 是该数据服务上支持的数据操作集合，metadatas 是元数据的集合。元数据 $\text{metadata}=<\text{name}, \text{value}>$ ，name 是该元数据的名称，value 是数据服务对应的该元数据的值。数据服务的操作是获取数据内容的手段，它提供了对数据服务所封装的全部或者部分数据的获取方法，其输入输出参数可以映射至数据模式片段。数据服务的元数据包括诸如数据质量（实时性、一致性等）、服务质量（可用性、响应时间等）、数据生命周期（更新频率、更新方式、数据量等）以及领域分类、地理位置等信息。

如上所述，数据服务就是通过一系列网络服务协议和标准（Http、XML、SOAP、WSDL、UDDI 等），在网络上异构的数据环境中以数据服务将数据源进行封装，并以网络服务的形式提供给用户。所以数据服务的本质是为其他系统应用提供一个数据访问代理或是接口（宋琦，2009）。对于用户而言，数据服务就是数据提供者，用户可以透明地通过数据服务提供的简单接口获取原本异构、分散的数据。而对于数据源而言，数据服务是唯一的用户，这样就将其他用户对数据源屏蔽了，使数据源的安全性得到了进一步的提高。

2.1.2 数据服务的内容

宋琦（2009）认为数据服务的内容，如图 2.2 所示，主要包括以下几点：数据源的元数据、数据源的连接配置、数据服务查询脚本、数据服务间的依赖关系、数据服务的元数



据以及权限控制和安全策略。从图 2.2 中可以看出，数据服务对用户屏蔽了数据访问的细节，为用户提供了一个虚拟的全局数据视图，网络用户可以通过数据集成平台系统提供的统一接口对集成数据进行访问，而且数据服务是数据集成平台中各个模块的核心，可以将数据服务开发工具、数据服务管理平台以及数据服务管理平台联系起来。

李岩松（2005）认为在光学字符识别（OCR）领域内，数据服务的内容包括：基本数据和文档服务（文档理解识别服务、人工校验加工服务、文档格式转换服务和数据定制整理服务）和可扩充数据服务（机器和人工翻译服务、动画制作服务以及工程设计服务）两大类。

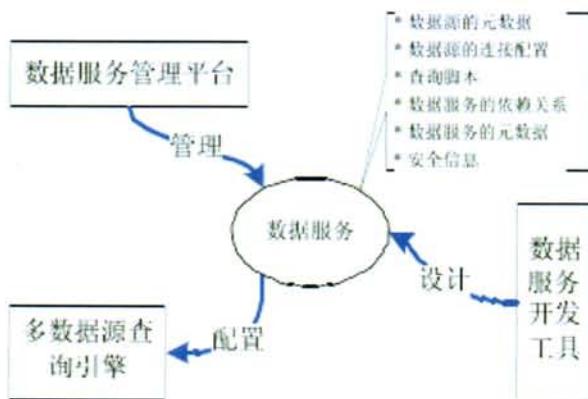


图 2.2 数据服务和数据集成其他模块的关系（宋琦，2009）

张胜（2011）则认为数据服务在 SOA 出现后，走向互联网。并指出基于元数据管理的数据服务能够实现：组织和维护数据、为数据目录和数据交换提供信息以及提供数据转换信息三个方面的内容。

2.1.3 数据服务的关键技术

目前实现数据服务的主要途径是 web service 技术，web service 是组件技术 CORBA 和 DCOM 在 web 上的部署，支持 web 上的分布式计算和应用（Cauldwell P, 2001）。它通过标准的协议构建异构平台之间的通信，关注的是平台上通信对象的属性、方法以及接口，其他有关对象在平台中的实现细节与环境并不是 web service 所关注的。在客户端，首先获取服务端的服务描述文件-WSDL，解析该文件的内容以了解服务端的服务信息和调用方式，然后根据需要生成恰当的 SOAP 请求消息（指定调用的方法，已经调用的参数），发



往服务端，等待服务端返回的 SOAP 回应消息，解析得到返回值。在服务器端，首先接收客户端发来的 SOAP 请求消息，解析其中的方法调用和参数格式，然后根据客户端的需要生成服务描述文件-WSDL 以供客户端获取。根据 WSDL 的描述，服务器端会调用相应的 COM 对象来完成指定功能，并把返回值放入 SOAP 回应消息返回给用户。



图 2.3 Web Service 体系架构

图 2.3 是 web service 的体系架构，其中：

WSFL (Web Services Flow Language) 是 Web Service 流程的语言，可以定义 Web 服务操作的执行顺序；

UDDI (Universal Description, Discovery and Integration) 是允许用户和应用去查找所需 Web Service 的一种特殊的 Web 服务，是由 WSDL 描述的 web services 界面的目录；

WSDL (Web Services Description Language) 是 Web Service 描述语言，是一个基于 XML 的语言，用于描述 web 服务的内容、参数、属性等信息；

XML (eXtensible Markup Language) 定义了一种通用的表示数据和集中数据的通用的简单方法；

SOAP (Simple Object Access Protocol) 使用 XML 作为消息去定义一个通用的 Web Service 请求，使应用程序简单地继承起来。

Web 服务使用 HTTP 和 Ftp 进行通信，将所有的消息都基于 XML 封装成 SOAP，然后用 WSDL 对 SOAP 进行描述，包括 web 的接口和访问等，UDDI 为服务定义了目录结构。



2.1.4 数据服务的实现

BEA 公司在 2005 年提出的数据服务既可以直接构建于 SQL 语句或存储过程之上，也可以构建于实体关系模型之上 (Padm 等, 2006; 蔡海尼等, 2009)。但面向服务的架构 SOA (Service-Oriented Architecture) 是目前实现 web 服务的主要架构方式，可以将网络应用系统和平台上的各个功能模块通过服务定义良好的接口和契约联系起来，实现 web service。其中接口是采用独立于硬件平台、操作系统和编程语言的中立的方式定义的，这样可以使构建的 web service 应用平台中的各个服务都以统一和通用的方式进行互操作(毛新生, 2007; 沈惠璋等, 2010)。

Fujun Zhu 与 Mark Turner (2004) 提出了一种面向服务的数据集成架构 (service-oriented data integration architecture, SODAI)，并实现了一个原型系统 IBHIS (Integration Broker for Heterogeneous Information Sources)，系统中数据集成是由代理服务 (Integration Broker Service, IBS) 和数据接入服务 (Data Access Service, DAS) 构成的两层结构。其中数据接入服务是连接到多个物理数据源的接口，而数据代理服务是对数据接入服务的进一步集成和扩展，可以对外提供多种功能性服务。数据代理服务首先需要注册到一个系统内的 UDDI 注册中心，消费者使用数据服务时，先在服务注册中心查找出相应的服务代理，然后再根据相应的规则来调用服务代理，服务代理再调用数据接入服务，接入服务完成数据服务请求，最后将请求的数据结果返回给用户。

Reveliotis P 和 Carey M (2006) 在 Oracle 公司数据服务中间件的基础上对其进行了 web 服务封装，使其能够满足 web 服务的需求。Oracle 公司数据服务中间件也是两层结构，底层为物理数据服务，上层为逻辑数据服务。物理数据服务和逻辑数据服务都不是 Web 服务，但系统可将任意的物理数据服务或逻辑数据服务包装为 Web 服务。用户可以根据需求将一部分逻辑服务或物理服务包装成 Web 服务，提供对外的数据服务的接口。

谢兴生 (2007) 提出了一种将每个“异构数据获取与处理描述包”封装为一个数据服务单元 (data service cell, DS-cell)，把局域网范围内一个或多个数据源抽象为一组 DS-cells，实现可对外提供数据的服务。这些数据服务单元包括单元对外发布的服务简介信息和与单元执行有关的数据处理两方面。

目前，数据服务的实体一般是与某个特定的应用实体相关联的，它具有应用实体某些特性的同时也具有数据源的某些特性。而这种在应用程序上建立的数据访问，既可以是单



独构建的，也可以是集成在应用程序平台中。图 2.4 是蔡海尼等（蔡海尼等，2009）给出的基于数据服务的两种数据访问方式。

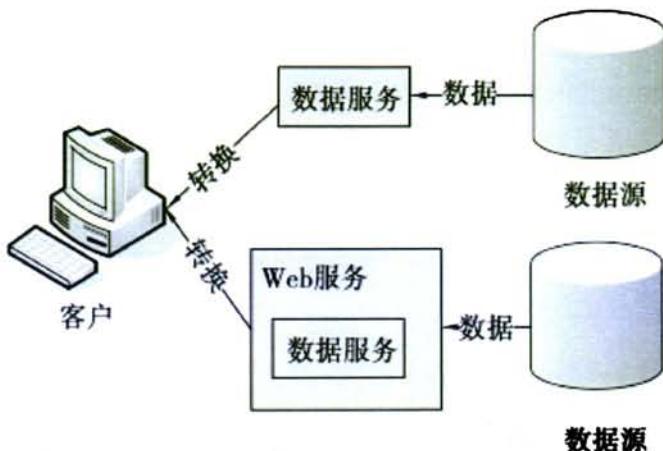


图 2.4 基于数据服务的数据访问方式（蔡海尼等，2009）

李帅等（2010）提出了一种基于 SOA 的数据服务架构，如图 2.5 所示，通过在三个角色之间制定统一的标准和规范，将数据以服务的形式由数据提供者进行注册，以服务的形式由数据使用者使用。其中数据服务提供者是一个可通过网络寻址的实体，可以是一个系统的后台数据库，也可以是其他的数据形式，主要提供与数据服务有关的数据服务器或是数据地址的信息的解析标准，并将这些服务和接口契约发布到服务注册中心，以便数据服务请求者可以发现和访问这些服务。数据服务请求者是共享数据的消费者，它向服务注册中心发出请求，寻找所需的数据服务，并根据服务的接口规范和契约进行服务绑定，最终获得所需的数据服务。数据服务代理对数据服务提供者及数据服务进行统一管理，并负责按照提供服务的不同对注册服务提供者进行分类，同时，提供数据服务目录，是数据服务提供者与数据请求者连接的桥梁，数据服务提供者向它注册服务，而数据服务请求者通过它查询所需服务接口信息，用以访问（李帅等，2010）。

从以上的分析中可以看出，数据服务一方面可以对内访问底层数据源，另一方面对外提供数据及信息，它是以提供数据及信息为主要目的的服务。数据服务对外提供 Web 服务接口，用户通过 Web 服务访问数据。数据服务本身可以有复杂的层次结构，并且可以复用。



2.2 空间数据服务

空间数据用来描述地球表面与空间位置有关的各种事物的特征和属性，所以空间数据既包括空间信息，也包含属性描述信息。空间数据服务简单地讲就是将空间数据当作服务（data as a service）提供给用户。面向服务的思想及 Web Service 技术的发展对空间地理信息产生了极大的影响，促使空间信息的应用模式从封闭的地理信息系统走向了标准、开放的地理信息服务。

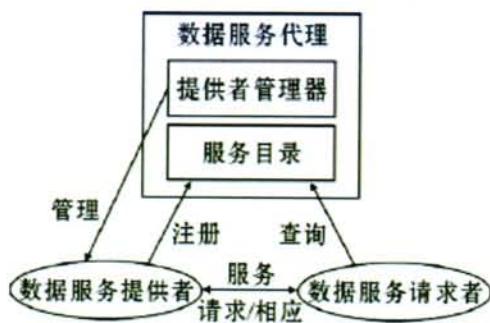


图 2.5 数据服务的 SOA 架构 (李帅等, 2010)

2.2.1 ISO 空间数据服务

国际标准化组织 (International Organization for Standardization, ISO) 的地理信息委员会 (ISO/TC211) 负责制定和发布数字空间数据的有关标准，其主要目的是为了使空间信息得到更为广泛地理解和使用提供空间数据的获取、集成和共享，提高数据使用的经济效益等。ISO/TC211 标准的发展大体经历了三个阶段：(1) 空间数据标准；(2) 基于位置的服务 (Location-based services) 和影像标准；(3) 信息交流 (主要是针对特定领域的标准)。

2005 年，ISO/TC211 发布了《Geographic information Services》(ISO 19119:2005) 标准，对空间数据信息服务进行了详细的定义和阐述。ISO 19119:2005 标准为特定的空间数据信息服务，尤其是相关的软件开发提供了一个标准的、抽象的框架，使得通过这些已经定义的标准的接口实现空间数据的互操作，并能够通过服务元数据的定义来支持数据目录服务的创建，而且这种抽象的框架可以通过多种方式来实现。

ISO 19119 空间数据服务标准是在公开分布式处理参考模型 (ISO/IEC 10746) 的基础上发展起来的，是通过三个视点（计算、信息、工程与技术）定义了一系列组件、连接与



拓扑的框架。这三个视点具体阐述如下：

从 ISO 19119 计算的视点看，服务有三个重要的部分，既：服务、接口和操作。服务是有实体通过接口提供有特殊功能的部分，接口是对实体提供服务的操作名，操作是一个对象可以转换或查询的执行规范，一般包括名称和参数列表。服务可以通过一组操作的一系列的接口获得。将这些操作的接口按照用户的需求进行组合和聚集，就形成了满足不同用户需求的服务。

从 ISO 19119 的信息的视点来看，服务主要关心的是信息处理过程中的语义问题。每一个服务都需要通过操作定义它的语法接口，通过描述操作的意义和合理的执行次序来定义它的语义。空间信息服务主要包括六个方面内容：(1) 人员交互服务，主要是提供用户界面、图形图像、多媒体以及综合文档的展示等服务，例如目录视图、地图视图、地图编辑器等；(2) 模型/信息管理服务，主要是开发、生成、存储元数据、概念性的 schemas 和数据集，例如矢量、地图、地面覆盖、目录等的获取服务；(3) 工作流或称任务流服务，支持与人类特定活动相关的特殊任务和工作，由处在不同工作或任务阶段的的人员完成，包括服务链的定义以及流程的执行等；(4) 程序处理服务，包括空间处理服务（定义投影坐标及转换、几何校正、剪切等空间处理服务）、专题处理服务（专题分类、地图综合等专题处理服务）、时态处理服务（时态参考系的转换以及时间切片服务）、元数据处理服务等，例如要求服务程序执行按天的数据的检查等；(5) 通信服务，主要是为服务在通信网络中的通信进行编码和转换；(6) 系统管理服务，主要管理系统的组件、应用、网络以及用户注册及权限等。

从 ISO 19119 的工程的视点来看，空间数据服务主要是如何通过网络实现或是获得分布式的服。ISO 19119 是利用一个四层分布式的架构模型来实现这种分布式的服的 (Percivall, G., 2002)。

2.2.2 OGC 地理空间数据信息服务

开放地理空间信息联盟 (Open Geospatial Consortium, OGC) 结合 Web Service 技术，定义了开放地理数据信息服务框架 (OpenGIS Web Service Framework, OSF) (OSF, 2010)，建立了开放地理信息服务 (OpenGIS Web Service, OWS) (OWS, 2010) 的互操作协议栈。OSF 是一个基于开放标准的在线信息服务框架，定义了一系列可以被应用程序所使用的服



务、接口和协议，能够无缝集成各种在线空间信息服务，使得各种分布式空间处理系统能够通过 XML 和 HTTP 技术进行交互。OSF 是抽象体系结构，而 OWS 互操作协议栈是实现这种抽象体系结构的技术集合。

曾鸣（2011）将 OGC 空间信息服务分为注册服务、处理服务、描绘服务以及数据服务四大类，每个大类又分为若干子类，如图 2.6 所示。刘伟（2010）却认为按照 OGC 的开放空间数据网络服务的体系架构，如图 2.7 所示，分为处理服务、绘制服务、数据服务、编码服务、注册服务、客户服务六大类。其中空间数据服务是主要提供空间数据 web 访问能力的服务，主要包括 web 要素服务（WFS）和 web 覆盖服务（WCS）。在 WFS 中包含 5 个操作：GetCapabilities、DescribeFeature、GetFeature、Transaction 和 LockFeature。WCF 是使用网络 HTTP/SOAP 协议实现对栅格数据的访问，既可以访问栅格数据地理空间信息也可以访问栅格数据的属性信息。WCS 能够实现三种操作：GetCapabilities、GetCoverage 和 DescribeCoverage。



图 2.6 OGC 空间信息服务分类（曾鸣，2011）

2.2.3 ESRI 的空间数据服务

美国环境系统研究所公司（Environmental Systems Research Institute, Inc., ESRI）成立于 1969 年，是目前世界上最大的地理信息系统技术提供商之一。ArcGIS Server 是 ESRI 公司提供的一个用于构建集中管理、支持多用户的将 GIS 技术与 web 服务技术相结合的能够提供空间数据管理服务、制图服务、地理处理服务、空间分析服务等应用平台。

ArcGIS Server 能够将分布式管理的空间数据应用系统或平台通过 web 进行集中式管



理，有效地降低了系统维护和管理的成本，并且能够使用户在不需要安装或是安装少量 GIS 软件的情况下进行较为复杂的 GIS 操作和应用。另外，ArcGIS Server 提供了能够满足多种形式和层次的应用需求的定制和开发工具和组件，能够使用户利用主流的网络技术定制适合自身需要的 web GIS 空间数据应用系统。

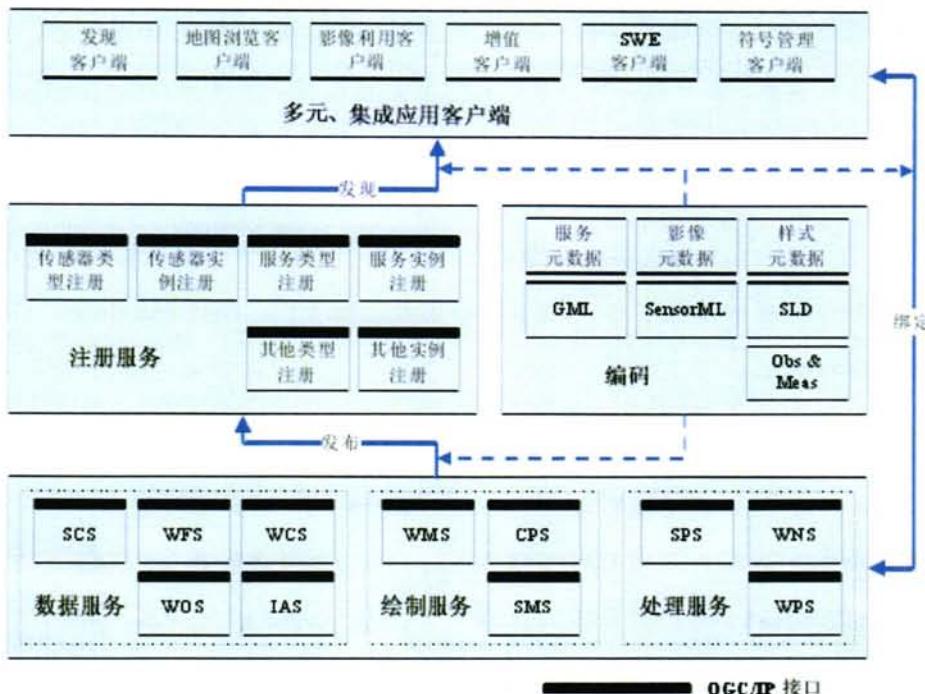


图 2.7 开放空间数据网络服务的体系架构 (刘伟, 2010)

ArcGIS Server 是一个多用户的 GIS 服务器，由 GIS 服务器和 Web 应用开发框架 (ADF) 两大部分组成。GIS 服务器是一个核心 ArcObjects 的组件库，能够运行在 Windows 和 UNIX 系统中管理 GIS 应用的软件。Web 应用开发框架 (ADF) 是一组可以用于 web 开发的 ArcObject 组件，能够用来开发基于 web 的应用系统，也可以用来开发新的 web 服务。

2.2.3.1 ArcGIS Server 服务内容

ArcGIS Server 将 GIS 的各种资源（地图文档、数据、工具、模型等）作为服务发布，这些服务既可以被其他 ArcGIS 产品直接使用，也可以成为 web service 访问 GIS 资源的服务接口。ArcGIS 能够发布的服务及相对应的 GIS 资源如表 2.1 所示。ArcGIS Server 是支



持 OGC 标准的，能够发布基于 OGC 标准的 WMS、WFS、WCS、GML、KML、WPS、WMPS、Metadata 地理空间数据服务。它不直接支持 WMS 服务的，而是通过地图样式表（Styled Layer Descriptor-SLD）对 WMS 服务进行图层渲染。SLD 也是一种基于 OGC 标准的规范，它在 WMS 服务中加入特定的 XML 用于描述要素或者图层的风格，即 SLD 可以指定 WMS 中特定的图层用特定的地图要素符号进行表现。同时，WMS 服务在 capabilities 文件中声明 SLD 所有的渲染样式供客户端选择。所以 ArcGIS Server 是基于 OGC 标准来实现分布式数据共享、交互操作的。

表 2.1 ArcGIS 资源与 ArcGIS Server 中的服务

服务类型	GIS 资源	ArcGIS Server 中的服务
Map service	地图文档资源	Mapping、Geoprocessing、Network Analysis、WCS、WFS、WMS、Mobile data、KML、Geodatabase data extraction and replication
GeoCode Service	地理定位服务	Geocoding
Geodata service	地理数据库	Geodatabase query, extraction, and replication、WCS、WFS
Clobe service	Globe 文档	3D mapping
Geometry service	不需要 GIS 资源	Geometry services
Geoprocessing service	工具箱	Geoprocessing
Image service	栅格图层或是可编辑的影像服务定义	Imaging、WCS

2.2.3.2 ArcGIS Server 空间服务架构

图 2.8 是 ArcGIS Server 空间数据服务体系的架构，从图中可以看出 ArcGIS Server 的架构大体分为三层，包括客户端（表达层）、服务层和数据层。GIS Server 可以对数据层的空间数据进行封装，向局域网上客户端的用户提供 GIS 服务或是再将 GIS Server 利用 Web Server 技术进行封装向互联网上的用户提供 GIS 服务。

具体来说，服务层的 GIS Server 本身包括服务对象管理器（Server Object Manager, SOM）和服务对象容器（Server Object Container, SOC）。当外部发出请求时，GIS Server 首先连接到 SOM，每个 SOM 主机只有一个 SOM 进程，SOM 管理分布的一个或是几个 SOC，并将 GIS Server 请求分发到相应的 SOC，SOC 是服务实际执行的容器，可以将底层的空间数据按照服务的要求进行封装，执行服务操作，并将服务执行的结果返回给 SOM。SOC 是分布环境中 SOC 主机上运行的进程，每个 SOC 主机可以有一个或是多个 SOC 进程，每个 SOC 进程对应一个 Server Context，Server Context 可以直接调用 Server Objects，而 Server Objects 是粗粒度的服务对象，可以进一步调用其他多个 Server Object，例如



esriCarto.MapServer 可以提供地图文档访问，进而通过地图文档访问地图文档中的各个对象，例如 MapServer->Map->Layer。但是需要注意的是，一个服务器对象也可以是一组无状态的方法，例如地图输出（MapServer.ExportMapImage），也可以提供 web service 的接口，例如提供 SOAP 接口来处理 SOAP 请求（MapServer.HandleStringRequest）。

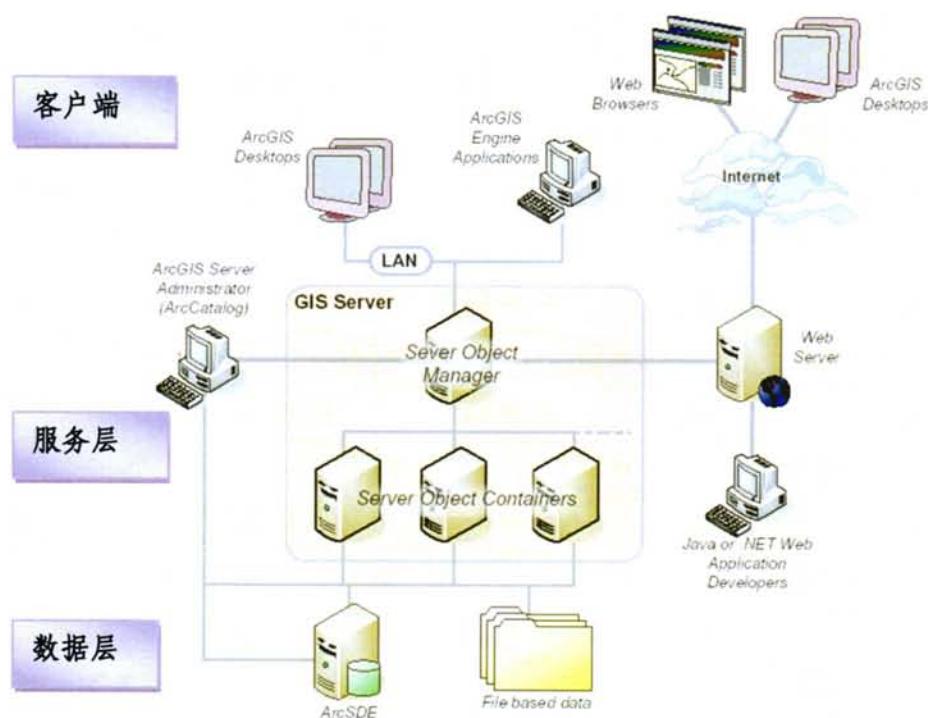


图 2.8 ArcGIS Server 空间数据服务体系架构

2.2.3.3 ArcGIS Server 的网络服务

ArcGIS 提供了两种类型的 Web Service 创建方法：GIS Web Service 和 Application Web Service。GIS Web Service 将 ArcGIS Server Object (Local data source) 发布为 ArcGIS Server Web Service (Internet data source) 的 ESRI 标准，通常不用于开发，而用来发布信息和提供资源，ArcMap 就可以直接使用 GIS Web Service 的资源而不用进行任何开发。另外通过定制或是应用开发，Web ADF 控件和 Common API 也可以使用 GIS Web Service 发布的资源。GIS Web Service 基于标准 web service，所以它可以作为传统 web service 来使用，ArcGIS



Server 提供了 SOAP API 可以对其进行相关的开发。Application Web Service 是基于标准 web service 建立的应用，使用一种 ESRI 的 data source 进行开发。web service 可充分利用 ESRI 提供的各种 data source specific API 的所有功能，例如 MapServer 和 GeocodeServer 对象，同时具有 SOAP 接口，能够处理 SOAP 请求。ArcGIS Server 的 SOAP API 是一个基于 SOAP 标准使用 ArcGIS Server 服务通信的 XML 结构的语言。由于这种能力是在服务器对象级别启用，作为一个开发者可以与服务器的交互，例如，MapServer 的 SOAP 的代理和 IMapServer 的 ArcObjects 的 COM 接口的 ExportMapImage 方法，虽然协议和类型不同，但使用效果大致相同。

ArcGIS Server 有三种 API: Server API, .NET Web Controls 和 Java Web Controls。Server API 就是 ArcObjects 的对象库。网络 ArcObjects 编程需要了解各种网络编程协议和规则，包括：如何连接到服务器；如何得到运行在服务器上的服务对象；如何在服务器上创建新的对象等，然后完成自己 GIS 服务的相关功能。ArcGIS Server 对象包括细粒的 ArcObjects 对象和粗粒的 ArcObjects 对象，它们可以根据应用需求，按功能逻辑组成不同的组件，完成一个复杂的 GIS 功能。例如，SOM 服务器上的 MapServer 和 GeocodeServer 对象就是粗粒的 ArcObjects 对象，SOC 服务器对象 Layers 对象是细粒的 ArcObjects 对象，可以被其对应的上层的粗粒的 ArcObjects 对象调用。

ArcGIS Server 提供了.NET 和 Java 两种应用开发框架(Application Developer Framework, ADF)，它们是由一组 Web 控件、应用模板、开发帮助和示例组成，同时，它也包含一个用于部署 GIS Web 应用的运行时。应用模板包括： Map View Template、 Search Template、 PageLayout Template、 Thematic Template、 Geocoding Template、 Buffer Selection Template 以及 Web Service Catalog Template。Web 控件包括： Map control、 PageLayout control、 TOC control、 Overview Map control、 Toolbar control、 NorthArrow control、 ScaleBar control、 Impersonation control。应用模板一般包括两到三个这些 web 控件，应用模板使开发人员在使用 GIS 服务器上的 ArcObjects 构建和部署.NET 和 Java 的 Web 应用更加容易，初学者可以将它作为 GIS Web 服务应用开发的起点。另外，ADF 可以通过控件 Resource Managers 来对 GIS Server 所发布的各种服务资源进行连接和管理。

ArcGIS API for Flex 是 ArcGIS Server 的扩展开发组件，可以结合 ArcGIS Server 构建和发布的 GIS 服务资源（如： Map service、 Geodata service 等）和 Flex 提供的组件（如 Grid、 Chart 等），开发出基于 Internet 网的、交互体验良好的 web 应用。Flex API 是通过



ArcGIS Server REST (Representational State Transfer) API 访问 GIS web 服务的。REST 通过 url 的方式来访问服务的根目录，这些根目录下的服务是 REST 服务里的资源，主要用来描述服务的属性信息，而操作则基于该服务能够实现的功能，例如查询、搜索、生产 KML 等。由于受到 REST 的一些限制（例如 REST 是无状态的），从客户到服务器的每个请求都必须包含理解该请求所必需的所有信息，不能利用存储在服务器上的上下文，所以 Flex API 不适合构建复杂的 GIS service。但是，不论是对数据服务访问还是应用开发，Flex API 都比较简单，而且利用 Flex 的浏览、查询速度都比较快。

综上所述，在一个前端的应用中，我们可以直接使用 REST API、SOAP API，也可以使用自定义的 Web Service，而我们的 Web Service 可能来自于 ADF、SOAP、ArcObjects 或者是他们任意的组合。

2.3 海洋卫星数据服务

2.3.1 海洋卫星数据服务系统架构

本论文构建的基于 web 的海洋卫星数据服务系统-OSDSS 包括四个层次，即数据层、服务层、服务支持层、应用层，如图 2.9 所示。

最底层为数据层，主要负责将各类海洋卫星数据以及相关的其他海洋数据产品经过预处理程序存入数据库中，同时对数据的元数据信息进行处理并入库。目前，本研究处理的海洋卫星数据主要包括：1）由海洋二所的卫星海洋环境动力学国家重点实验室生产海洋生产的水色水温数据产品（L3 和 L4，如图 1.6 所示），2）多年来从国内外各个卫星分发机构收集到的海洋卫星数据产品（例如 NASA JPL 的 QuikSCAT 的风场数据产品），3）其他类型的数据主要包括部分实测数据、搜集到的其他数据（例如海洋基础地理信息数据，1:400 万比例尺的行政区划等）。

数据层的上一层是数据服务层，在这一层需要实现的数据服务包括：数据查询服务、数据访问服务、数据按空间搜索服务、数据按客户要求进行处理的服务、数据格式转换服务、数据可视化服务、多源数据综合显示服务、数据综合分析服务。

数据服务层的上一层数据服务支持层，包括支持数据服务的门户网站，为了数据的安全而进行用户权限管理的支持等。



数据服务支持层的上一层是服务应用层，本研究将此服务系统应用于台风过境期间海洋卫星遥感参数的时空变化分析，河流冲淡水区域面积计算和二氧化碳通量的计算。

由于本服务系统采用了 SOA 的技术进行架构，所以系统的各个服务可以按照事先约定的规范单独进行设计和开发。另一方面，这样的系统在数据或是需求增加的时候也很容易进行扩展。

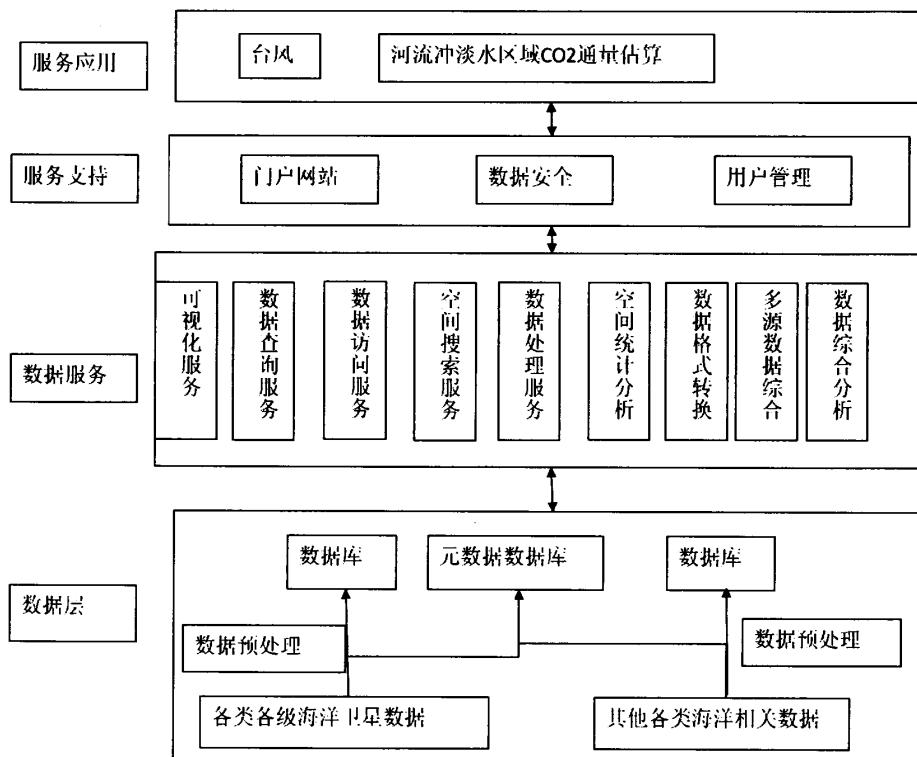


图 2.9 面向服务的海洋卫星数据服务系统-OSDSS 四层架构

2.3.2 海洋卫星数据服务系统技术路线

海洋卫星数据服务系统-OSDSS 的架构是基于 SOA 的四层架构，包括：数据层、数据服务层、服务支持层和服务应用层，如图 2.9 所示。而这四层架构利用 GIS 服务与 Web 服务技术实现的技术路线如图 2.10 所示。

首先，数据层的各类数据经过数据的预处理存入数据库，同时生成元数据并将相应的元数据存入元数据库。数据预处理包括数据格式、投影坐标、语义等的转换，数据的预处



理的大部分工作主要是利用 ArcEngine 将各类数据转换为 Geodatabase 中数据类型的过程。

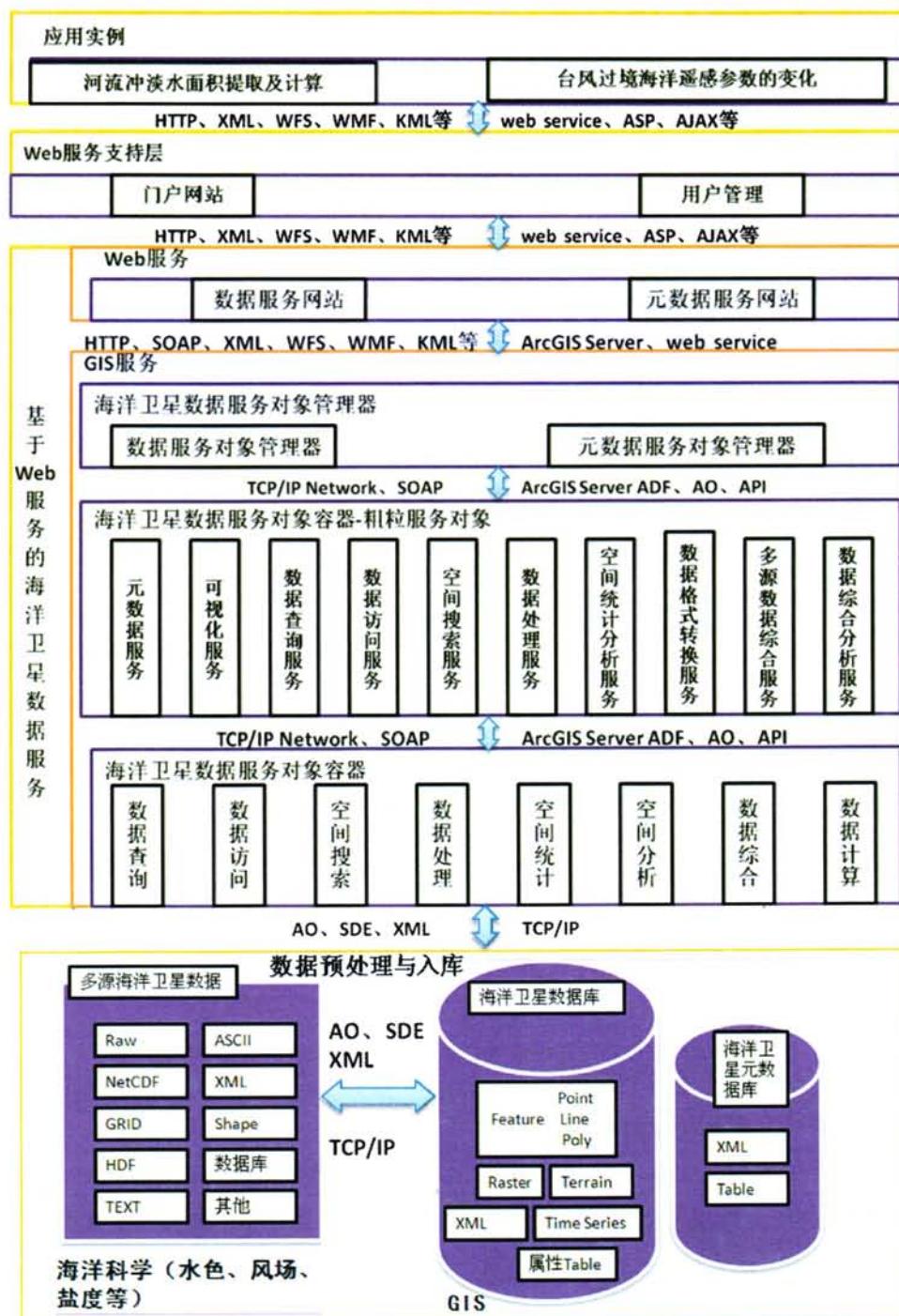


图 2.10 海洋卫星数据服务系统-OSDSS 技术路线框架

其次，在数据库和元数据库的基础上，海洋卫星数据服务层利用 ArcGIS Server 技术构



建海洋卫星数据服务对象。这些服务对象包括海洋卫星数据的可视化、数据查询、数据访问、数据搜索、数据处理、空间统计、空间分析、数据综合、数据计算等。但是这些服务对象是在更细的对象的基础上构建的：可视化服务对象，就包括点、线、面、网格以及栅格数据的可视化服务以及制图服务等服务对象；数据查询服务对象包括数据按时间查询服务对象、数据按查询服务对象等；数据访问服务对象包括数据目录访问服务、元数据访问服务等服务对象；空间搜索服务对象包括数据按一定的空间范围搜索服务等服务对象；数据处理包括数据裁剪、数据投影坐标系转换等数据处理服务对象；空间统计包括长度统计服务、面积统计服务等服务对象；空间分析包括缓冲区分析服务、路径分析服务等服务对象；数据综合包括图层服务、数据地图服务等服务对象；数据计算包括栅格数据计算以及矢量数据合并等数据服务对象。将这些基本的较细粒度的服务进行组合形成粗粒度的数据服务，而海洋卫星数据服务对象管理器和元数据服务对象管理器对这些粗粒度的服务进行管理。

利用 web service 技术在对基于 GIS Service 的海洋卫星数据服务对象管理器进一步进行封装，使其在 internet 上的客户端的用户，即使不安装 GIS 软件，也能够使用 GIS 的功能。并在此基础上开发了相应的门户网站，并对访问网站的用户进行管理。

最后，以台风过境期间海洋遥感参数的时空变化与河流冲淡水面积提取及统计作为应用实例来进一步说明海洋卫星数据服务的使用。

2.4 本章小结

本章首先介绍了数据服务的概念，尽管对于数据服务目前还缺乏统一的定义，但是数据服务通常被认为是通过一系列网络服务协议和标准（Http、XML、SOAP、WSDL、UDDI 等），在网络上异构的数据环境中以数据服务将数据源进行封装，并以网络服务的形式提供给用户，其本质是为其他系统应用提供一个通过网络访问数据的代理或接口，屏蔽了数据源。还介绍了数据服务的内容，包括数据源的元数据、数据源的连接配置、数据服务查询脚本、数据服务间的依赖关系、数据服务的元数据以及权限控制和安全策略等内容。并进一步介绍了数据服务实现的关键技术，以及前人在实现数据服务方面所做的研究。

其次，介绍了空间数据服务的相关内容，包括应用最为广泛的 ISO 和 OGC 的空间数据服务标准及规范，以及国内外基于 ISO 与 OGC 的空间数据服务的研究成果。之后，着重介绍了 ESRI 的空间数据服务 ArcGIS Server，它是支持 ISO 和 OGC 数据信息服务标准



的商业软件平台。

最后,提出了本研究构建的海洋卫星数据服务系统-OSDSS,详细介绍了该系统的架构,阐述了该系统实现的技术路线。OSDSS 是一个基于 SOA 的四层架构,并利用 GIS service 和 web Service 技术相结合来实现海洋卫星数据可视化、数据查询、数据访问、数据搜索、数据综合分析等数据服务功能。



3. 海洋卫星数据模型及数据库

海洋科学数据作为地球空间数据的重要组成部分，不仅具有一般地球空间科学数据的共性（如空间属性），还具有它特有的属性，例如高动态性、边界模糊等特点。海洋卫星数据是海洋科学数据的重要组成部分，具有海洋科学数据的一般特点。海洋卫星数据服务系统-OSDSS 首要任务是在充分研究和了解海洋卫星数据特点的基础上建立起适合海洋卫星数据的数据模型，并在此模型的基础上建立海洋卫星数据库。所以研究海洋卫星数据服务首先要研究如何通过数据库管理系统来更为有效地综合管理海洋卫星数据，从而建立高效的数据库管理服务系统，来负责数据预处理、数据入库、数据存储以及数据备份等功能。因此，分析各类海洋卫星数据本身的特点，按照各自的特点设计合理的数据模型和数据库结构，并建立海洋卫星数据库管理系统是 OSDSS 的基础。

3.1 海洋卫星数据的时空特性

海洋卫星数据通常来源于不同卫星平台、不同传感器、不同的分发机构和组织，因此，海洋卫星遥感按获取时利用的电磁波范围可分为可见光遥感、红外遥感和微波遥感；按照获取信息能动方式可以分为被动遥感和主动遥感；按照探测的内容又可分为海洋动力与环境要素监测、海洋水色监测、海岸带及海岛绘制（吴培中，1993）。其中，利用海洋卫星技术监测海洋动力与环境要素的主要内容包括：海面风场、浪场、流场、潮汐、锋面、海冰形貌等海洋动力相关的参数；利用海洋卫星遥感技术探测海洋水色信息主要包括海水中叶绿素浓度、悬浮泥沙含量、污染物质、可溶有机物等要素；利用海洋卫星遥感技术进行海岸带遥感测绘主要包括海岸线及其演变的监测、滩涂和岛礁地形地貌的确定和绘制、沿岸工程环境的调查、浅海水深和水下地形的测量、地质构造和植被分布的调查等（李四海、刘百桥，1996）。相对于常规的海洋调查手段，海洋卫星遥感技术的优势表现在以下几个方面：

第一，海洋卫星数据覆盖的空间范围大。卫星遥感能提供大面积的海面图像，每幅图像的覆盖面积达上千甚至是上万平方公里，对海洋资源普查、大面积测绘制图及污染监测都极为有利；

第二，海洋卫星数据的获取不受地理位置、天气和人为条件的限制，可以覆盖地理位



置偏远、环境条件恶劣的海区及由于其他原因不能直接进行常规调查的海区；

第三，卫星遥感获取的海洋信息量非常大。如美国海洋卫星在轨有效运行时间虽然只有 105 天，但所获得的全球海面风向风速资料，相当于上个世纪以来所有船舶观测资料的总和，星上的微波辐射计对全球大洋作了 100 多万次海面温度测量，相当于过去 50 年来常规方法测量的总和（邵全琴，2001）；

第四，海洋卫星遥感可以全天时对海洋环境进行观测，其中微波遥感更是可以全天候地实时、同步、连续地获得密集的海洋遥感数据，这就有可能同步观测风、流等信息，甚至是污染扩散、海气相互作用和能量收支等实时情况；

第五，卫星遥感能周期性地监视大洋环流、海面温度场的变化、鱼群的迁移、污染物的运移等。

总之，海洋卫星遥感为海洋的研究提供了信息量丰富而有效的数据，这些数据可以用来研究各种区域海洋现象变化，乃至全球海洋变化或是全球变化。基于海洋卫星遥感的特点，相比于以往的海洋现场观测数据，海洋卫星遥感数据也有自身的特点：

第一，海洋卫星遥感数据在空间上具有良好的连续性，因为就某一种海洋卫星遥感数据而言，它是以大致相同的空间分辨率进行连续采集而得到的，而不同的卫星遥感产品空间分辨率可能不同；

第二，海洋卫星遥感数据在时间上大都具有良好的时间连续性，因为海洋卫星一般具有固定的运动轨迹，会在大致相同的时间过境，这样的数据产品会有相对固定的时间分辨率，就算是海洋卫星的 3 级、4 级产品也多是按日、周、旬、月等时间间隔的表征某种海洋参数的产品；

第三，海洋卫星遥感数据是分级产品，具体的分级如图 1.5 所示，各级产品因各自处理方式不同而具有不同的数据表现形式；

第四，海洋卫星的传感器种类较多，不同传感器的数据处理方法和流程也各不相同，所以即使表征相同的海洋环境参数，其数据之间也是有差异的；

第五，海洋卫星遥感数据一般具有相对固定的时间分辨率和空间分辨率，例如 NASA 的 Ocean Color 提供的多种海洋卫星数据产品。

海洋科学研究离不开实测数据，实测数据既是进行海洋卫星参数反演研究的数据基础，也是验证海洋卫星数据可靠性的重要依据，这些现场实测数据也是其他数据和理论结果的最终参照物。所以，在本论文构建的海洋卫星数据服务系统-OSDSS 中，也收集了船测和



浮标数据。这些实测数据通常没有固定的时间范围和获取设备，通常是由某个航测、或者固定或是漂浮的浮标获得，一般存储为文本文件，所以往往是时空离散的。一般的船测数据只提供某些特定位置上的信息，这些信息可能是单点单信息，也可能是单点多信息，例如悬浮泥沙浓度的测量是单点单参数，CTD剖面仪获取的导电率、温度和深度的数据是一个连续较短时间内某点垂线方向上的一组数据。而走航观测，可以获得沿航线的一组或是多组连续的观测数据。另外，利用船只测量仅能获得同一时间、同一地点的不同参数的数据，若要获得某一区域在某段时间内的连续观测数据，则需要对这一时间段内该区域多个站点的数据通过插值方法获取连续场来分析海洋现象。

除此之外，还用到了NOAA提供的数据。包括气候态月平均盐度数据，这是标准的网格化数据，也包括其他公开的历史船测数据集，主要的数据格式是文本，这些文本的一行存储某一位置（包括深度）在某一时刻获得的各类海洋参数。

综上所述，不同海洋数据的描述，数据的生产和处理的流程，使用的软件各不相同，甚至数据的语义和参考标准也不尽相同。在实现数据共享和服务时必须首先需要解决的问题就是数据异质性。对本文处理的各种海洋数据的特点总结如下：

卫星遥感数据（例海表高度，海温，水色，风速等），模式输出资料、同化资料和再分析产品（如Levitus, COADS, HadSST，以及NOAA的WOA09的气候态产品等），这些数据的特点是在时空连续性好，数据一般按照时间顺序依次分布在固定的空间网格点上，通常为二进制、Netcdf或HDF等文件格式。

现场观测数据（包括潮位，温、盐、流，水色，透明度，叶绿素，溶解氧等）通常是单点单变量，单点多变量，或是深度剖面一组数据，也有插值后得到的大面观测的数据。这些数据的特点是时空不连续，单个文件存储量不大，通常以文本或是ASCII码形式储存。

3.2 海洋数据模型研究现状

模型是现实世界的抽象和简化表达，数据模型的抽象过程也是信息的提取过程和信息关系的建立过程。当前GIS领域，由于关注的对象和应用的领域不同，采用和开发的GIS数据模型也不同。同时，由于人们对现实世界的认识在不断深入，应用需求也在不断扩展，对于诸多GIS数据模型，不能简单的认为哪种模型最好，能够最大限度地满足应用需求的数据模型才是科学合理的数据模型（李伟，2005），所以说，对GIS数据模型的研究仍为



目前 GIS 科学的重要研究领域。对空间数据而言，时空数据模型能有效地表达空间信息的空间位置属性、主题属性和时态属性及其相互关系。目前，时空数据模型有以下几种：时空复合模型、连续快照模型、基态修正模型、时空立方体模型、时空对象模型、面向对象的时空数据模型、以及关系时空数据模型、基于事件的时空数据模型、历史图模型等等。薛存金（2008）进一步将以上的模型分为四大类：（1）基于空间位置的时空数据模型、（2）基于地理实体的时空数据模型、（3）基于时间的时空数据模型、（4）基于空间、时间、属性综合集成的时空数模型。但是这些时空数据模型大都是针对某一特定领域提出的，在海洋数据方面的扩展比较困难，无法表达连续的海洋空间现象。

海洋是一个动态的、连续的、边界模糊的时空信息载体，海洋环境数据具有时空多维动态性特点，空间三维、时态问题是建立该数据模型必须考虑的问题。现有时空数据模型在表达海洋数据时存在一些问题，苏奋振等（2006）认为，其原因主要包括三个方面：（1）原有的时空数据模型都是在陆地应用中发展起来的，而海洋数据与陆地数据差异较大，这些模型在表达海洋数据都会存在一些问题；（2）现有模型的时间性不强，只能记录某个或某几个时刻的状态，时间上不连续，基本上局限于 GIS 的研究范畴；（3）海洋现象的边界具有模糊性，而陆地对象的边界一般是突变的、清晰的，导致现有数据模型应用于海洋数据上有着空间连续性问题。因此设计面向海洋环境的数据模型，是 GIS 在海洋专业领域应用研究的重要内容之一。

海洋空间信息和属性信息总是处于随时间的变化中，空间、时间及属性信息高度统一，而常用的海洋分析方法（如剖面分析、断面分析、时间序列分析等）都无法从空间、时间、和属性三个方面同时进行。因此，无法在时空统一框架体系下对海洋现象进行时空分析的主要原因是缺乏科学的时空数据表达、组织与存储的理论与方法。传统 GIS 的数据组织思想是把空间信息与属性信息结合起来，很少考虑时态信息。从上一节的分析中，可以看出海洋时空数据不同于其它空间数据，它具有多源性、多尺度及高动态性，除了数据格式不同外，还存在着数据语义异质性、分类标准、海陆数据空间标准的不一致问题。随着海洋 GIS 理论的发展，海洋时空数据模型的研究成为迫切需要解决的问题。目前，已有一些学者提出了海洋时空数据组织的概念模型。邵全琴（2001）针对跃层、涡漩、锋面、水团等海洋现象，提出了“场对象”的概念，并基于场对象的特性，提出了面向场对象的海洋 GIS 时空数据表达框架模型。李昭（2010）提出一种基于场和特征的海洋时空数据概念模型，并利用面向服务的技术对海洋时空属进行一体化的组织和实现。Dawn J. Wright 等



(2007)总结了主要的海洋数据来源和特点,结合各海洋用户群体实际的应用需求,提出了ArcMDM(Arc Marine Data Model)海洋数据模型。该模型采用了传统GIS表达地理对象数据的基本思想,将海洋要素表达为点、线、面、网格类型,给出了海洋数据概念模型框架和逻辑结构,并且将时间作为附加属性加入到海洋要素属性域中,利用对象关系数据模型存储结构Geodatabase存储随时间变化的海洋观测数据、海洋数值模型计算的结果数据,实现了海洋要素时空数据访问、查询、存储、分析和展示功能。刘贤三等(2010)利用结合“数字海洋”原型系统实际应用需求和海洋要素产品的特点,对ArcMDM数据模型子模型-网格(mesh)提出了一种改进方案,增加了多级分辨率,更加适合海洋数值模拟输出数据的建模。

综上所述,通过对海洋数据时空特点的分析以及对现有的时空数据模型、海洋时空数据模型阐述,发现利用基于陆地应用的时空数据模型表达海洋数据是不合适的,而目前已有的各种海洋时空数据模型大部分还处在理论探索阶段,离实际应用还有大量的工作需要去做。

ESRI的ArcGIS经过30多年的发展,为了解决一些专业领域的GIS问题,已经发展了多种数据模型,包括ArcHydro(Arc Hydro Data Model)、ArcMDM、Arc Carbon Footprint Data Model等。这些数据模型都是在充分了解各个领域的数据的空间特性的基础上,结合ESRI空间数据库(Geodatabase)的数据结构进行组织的。这些数据模型,能够满足相关领域在数据存储、集成、共享、分析等方面的需求。

ArcMDM是由来自美国俄勒冈州立大学、杜克大学、ESRI以及丹麦水文研究所的研究人员于2001年开始进行研究开发的针对海洋数据的数据模型。ArcMDM中所有的数据模板都是从数据对象继承而来,这些数据对象往往是特征数据集、特征类、对象类和对象关系的集合,一个特征数据集中的所有的特征数据应具有相同的空间参考。在空间数据库中,所有的对象都代表现实世界中的对象,例如QuikSCAT卫星的3级风矢量数据,这个数据对象中及报告风场的点矢量数据,还包括属性表来表述数据的属性信息以及通过关系表关联到相应的空间参考信息。ArcMDM组织的海洋空间数据可以利用ESRI的空间数据库引擎ArcSDE(Arc Spatial Database Engine)进行管理。

ArcMDM是为了更好地对海洋数据的管理、集成、共享等发展起来的。它能够为海洋数据提供海洋数据特征及属性表模板,利用这个模板来对海洋数据进行组织。这个模板是基于面向对象的数据模型,所以每个数据对象对应与现实中的相应的海洋数据类型。而且



ArcMDM 通过提高海洋数据的表现力为海洋现象的表达提供了一个更加精确的表现形式。

Marine points				Marine lines			
Instantaneous points		Time series point		Profile line		Time duration line	
Feature points	Instant subtype	Location series subtype	Time series	ID	X, Y	Track	ID
ID X, Y Z	ID X, Y Z or ΔZ m ₁ ...m ₂ t	ID ΔX, Y ΔZ m ₁ ...m ₂ t ₁ ...t ₂	ID X, Y Z or ΔZ m ₁ ...m ₂ t ₁ ...t _n	ID	X, Y M ₁ , M ₂ Z ₁ , Z ₂ ...	X ₁ , Y ₁ , X ₂ , Y ₂ ... M ₁ , M ₂ Z ₁ , Z ₂ ... m ₁ , m ₂ ... t ₁ , t ₂ ...	X ₁ , Y ₁ , X ₂ , Y ₂ ... M ₁ , M ₂
Examples: Marker buoy, transponder, other fixed, geography	Examples: CTD, XBT, SVP casts at ΔZ, fish density, tide gauge, etc., at surface or a single Z	Examples: Telemetry, bird/ mammal sighting, ship mounted ADCP	Examples: Current meter, moored ADCP at ΔZ, obs. buoy, hydrophone, OBS at single Z	Examples: For abstracting data from, building pro- file from, measur- ing change along... seismic reflection, bathy profile, cross section, sed. transport line	Examples: Transit ship track, ROV or sub track, algal bloom trawl, ADCP tracks, ARGO drifter	Examples: Cable, pipeline, sea wall, ocean front, EEZ or legal boundaries NOT enclosing an area	Examples: Shore line Shoreline type, VDatum
Survey subtype		Sounding subtype		Marine areas			
Examples: Aerial coastal survey, lidar, SCUBA/free swim obs.		Examples: Single beam bathy		Marine areas	Marine rasters/grids/meshes		Derived or placeholder
Feature area	Time duration area	Regularly interpolated surfaces	Irregularly interpolated surfaces	Mesh volume	Animations, movies, video		
ID X ₁ , Y ₁ , X ₂ , Y ₂ ...X _n , Y ₁ Z m t ₁ ...t _n	ID X ₁ , Y ₁ , X ₂ , Y ₂ ...X ₁ , Y ₁ Z m t ₁ ...t _n	row ₁ , col ₁ ...row _n , col ₁ Z _{1,1} ...Z _{n,n} multipoint	row ₁ , col ₁ ...row _n , col ₁ Z _{1,1} ...Z _{n,n} multipoint	ID X ₁ , Y ₁ , Z ₁ , X ₂ , Y ₂ , Z ₂ ...X _i , Y _i , Z _i m or m ₁ ...m _n t or t ₁ ...t _n ncols, nrows, nlayers	X ₁ , Y ₁ , Z ₁ , X ₂ , Y ₂ , Z ₂ ...X _i , Y _i , Z _i m or m ₁ ...m _n t or t ₁ ...t _n ncols, nrows, nlayers	X ₁ , Y ₁ , Z ₁ , X ₂ , Y ₂ , Z ₂ ...X _i , Y _i , Z _i t ₁ ...t _n	Animations, movies, video
Examples: Marine boundaries (e.g. sanctuary, MPA), habitats, patches, lava flows, clipping, masking	Examples: No-take zones, oil spills, harmful algal bloom	Examples: Multibeam bathy, sidescan, lidar, SST, climatology, scientific mesh, "re-analyzed" products (images such as GeoTIFF, BIL, etc.)	Examples: TINs, bathymetry, sidescan, LIDAR, scientific mesh, for finite element model, etc.	Mesh volume	Examples: U/W video footage, outputs from atm. or circulation models that are animated and georegistered so other data may be overlaid		

ACRONYMS –definitions

ADCP—acoustic Doppler current profiler

ARGO—array for real-time geostrophic oceanography

BIL—band interleaved by line (for remotely sensed images or grids)

CTD—conductivity, temperature, depth

EEZ—exclusive economic zone

GeoTIFF—georeferenced tagged image file format

LIDAR—light detection and ranging

MPA—marine protected area

OBS—ocean bottom seismometer

ROV—remotely operated vehicle

SCUBA—self-contained underwater breathing apparatus

SST—sea surface temperature

SVP—sound velocity profile

TIN—triangulated irregular network

U/W—underwater (also often refers to "underway")

VDatum—vertical datum

XBT—expendable bathythermograph

图 3.1 ArcMDM 中的通用海洋数据模型 (Dawn J. Wright, 2007; Vetter Lutz, 2012)



ArcMDM(Arc Marine Data Model) 海洋数据模型是一个专门面向海洋数据的，使海洋数据更加准确地表述海洋时空现象而制定的数据模型。在这个数据模型中，增加了多维属性的描述，例如时间和深度，相对于传统的空间数据模型更加适宜与海洋数据。ArcMDM 采用 ArcGIS 表达数据对象的思想，将海洋数据对象表达为点、线、面、和网格类型，如图 3.1 所示。ArcMDM 模型中将 ESRI 中点 (Feature Points)、线 (Feature Line)、面 (Feature Area)、栅格数据类型都按照海洋数据的特点在维度和属性上进行了规定和扩展。ArcMDM 为 GIS 在海洋科学方面的应用提供了一个可供参考的原型系统和统一的数据模型。它将海洋数据的空间动态变化相关的空间信息（包括深度）与时间信息在数据模型上进行统一，并将它们存入 GIS 空间数据库中，这为海洋数据的数据处理、可视化以及数据分析提供了一个统一的数据服务基础。

3.3 海洋卫星数据服务系统-OSDSS 的数据模型

这里我们将 ArcMDM 统一数据模型按照海洋卫星数据的特点，进行了一些扩展。从图 3.2 中可以看出，海洋数据模型中特征数据类 (Marine Feature) 主要继承于 ESRI 的特征数据类 (Feature)，而网格数据则直接继承于 ESRI 的 Object 类。

ArcMDM 将海洋数据划分为四大类，即点 (Point)、线 (Line)、面 (Area) 和网格 (Raster/Grid/Mesh)，但是在这四大类中，因为海洋卫星数据的种类繁多，形式多样，并不能简单地归为某一类。从 3.1 节中对海洋卫星数据特点的分析中可以看出，海洋卫星数据也可以用 (Point)、线 (Line)、面 (Area) 和网格 (Raster/Grid/Mesh) 来进行组织，但是直接利用 ArcMDM 来组织海洋卫星数据还是有一些问题，因为 ArcMDM 主要是针对实测数据的，而并没有海洋卫星数据中的点数据，例如在 ArcMDM 中并没有对海洋卫星数据的卫星以及传感器的描述，还有在海洋卫星数据模型中还应该考虑多级时间分辨率与空间分辨率的问题。事实上，海洋卫星数据往往是多级分辨率并存的。在空间上将多层规则格网数据的空间区域划分为若干的区块，在时间上根据各种建立多个不同粒度的时间段，然后分别建立区域空间索引和时间段的索引类对象，并与模型中其他相关的类对象进行关联，可以加快数据时空检索的速度。

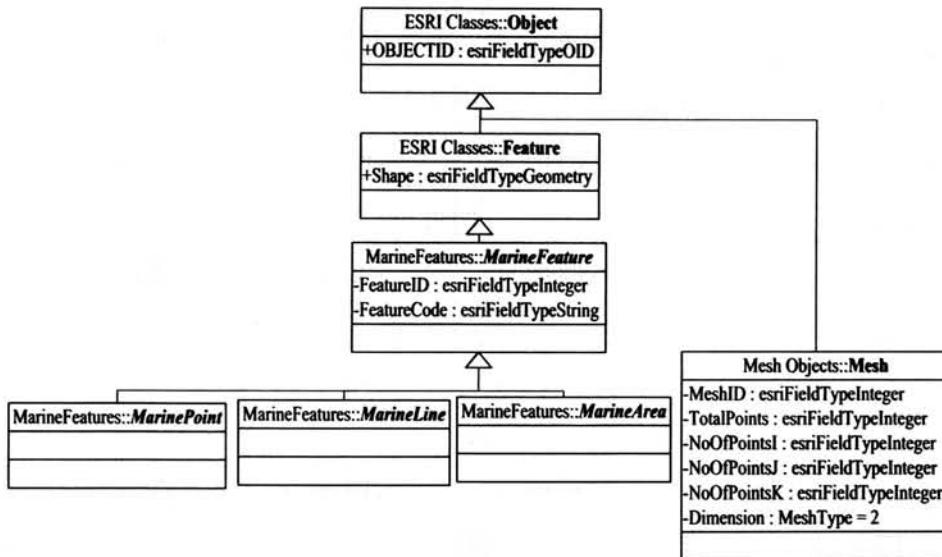


图 3.2 OSDSS 海洋数据模型的总的 UML 组织结构图

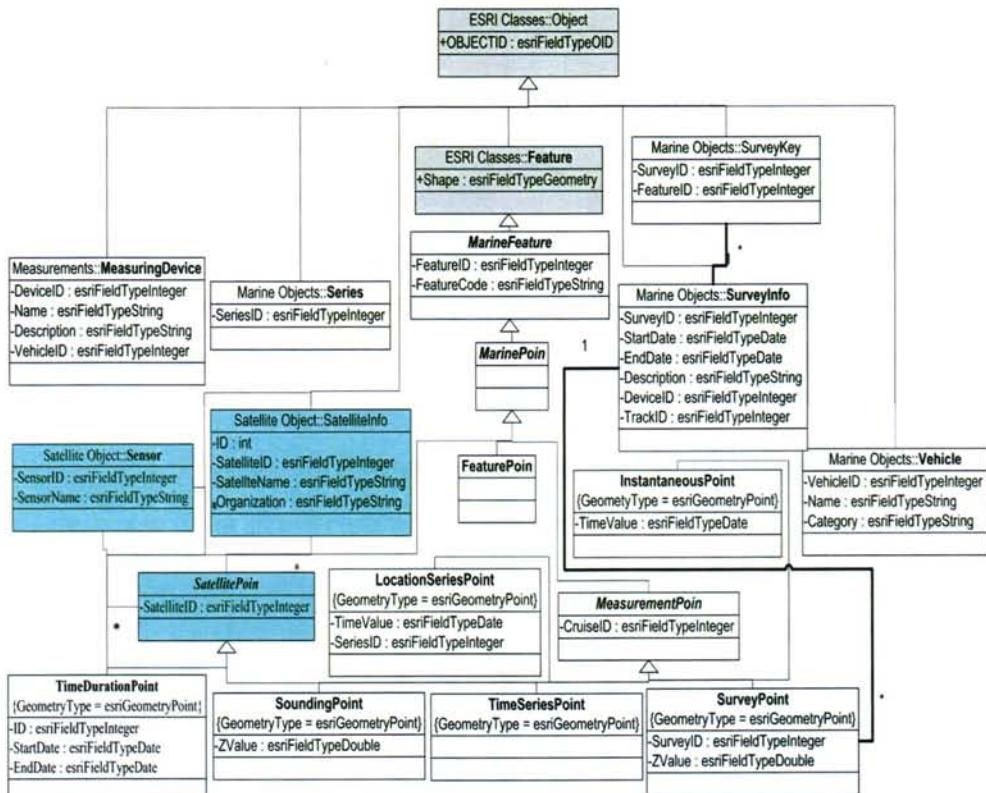


图 3.3 OSDSS 海洋数据模型中特征点模型的 UML 组织结构图



以 ArcMDM 中的特征点 (MarinePoint) 作为基类，加入海洋卫星点特征类 (SatellitePoint)，如图 3.3 所示。海洋卫星数据中的点数据主要包括沿轨扫描的数据，例如卫星高度计的 2 级产品，其数据是沿卫星运行方向的一系列点数据。这些海洋卫星的点特征数据都包括一些与数据有关的类，例如有关卫星信息和传感器信息的描述。海洋实测数据的点特征 (MeasurementPoint) 在 ArcMDM 中有较为详细的表述。

海洋卫星线特征类 (SatellitePoint) 继承了 ArcMDM 中的特征线 (MarineLine) 类，并扩展了与卫星和传感器相关的类，如图 3.4 所示。海洋卫星数据中的线数据主要包括海洋卫星的 4 级产品，例如海洋水色卫星的 4 级等值线产品，这些数据是某一类海洋参数的等值线，产品一般具有固定的时间周期 (如月平均等值线)，所以需要利用 TimeDuration 对其时间周期进行描述。这些海洋卫星的线特征数据都包括一些与数据有关的类，例如有关卫星信息和传感器信息的类。

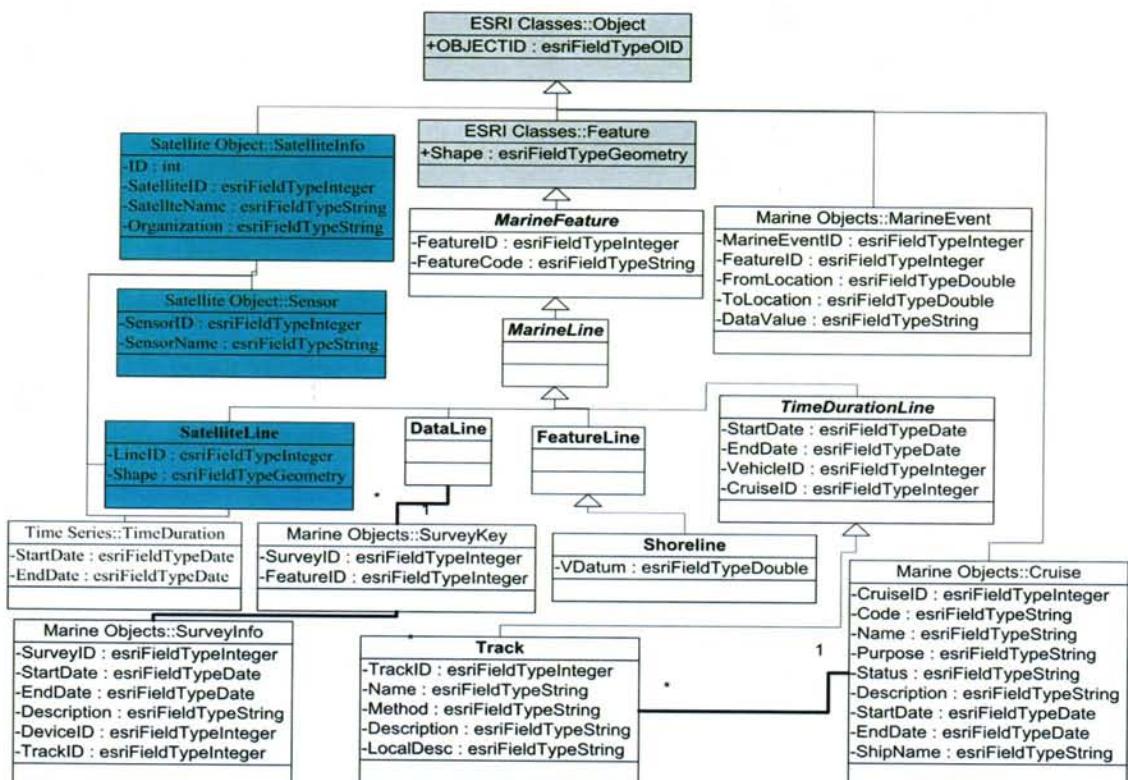


图 3.4 OSDSS 海洋数据模型中特征线模型 UML 组织结构图

在 ArcMDM 的特征面 (MarineArea) 中加入了海洋卫星特征面 (SatelliteArea)，如图 3.5 所示。海洋卫星数据中的面数据主要用来描述利用卫星产品数据得到多边形数据，例



如利用卫星数据获得赤潮区域的数据等。同样的，这些面特征数据也包括与数据获取信息有关的类，例如有关卫星信息和传感器信息的类。

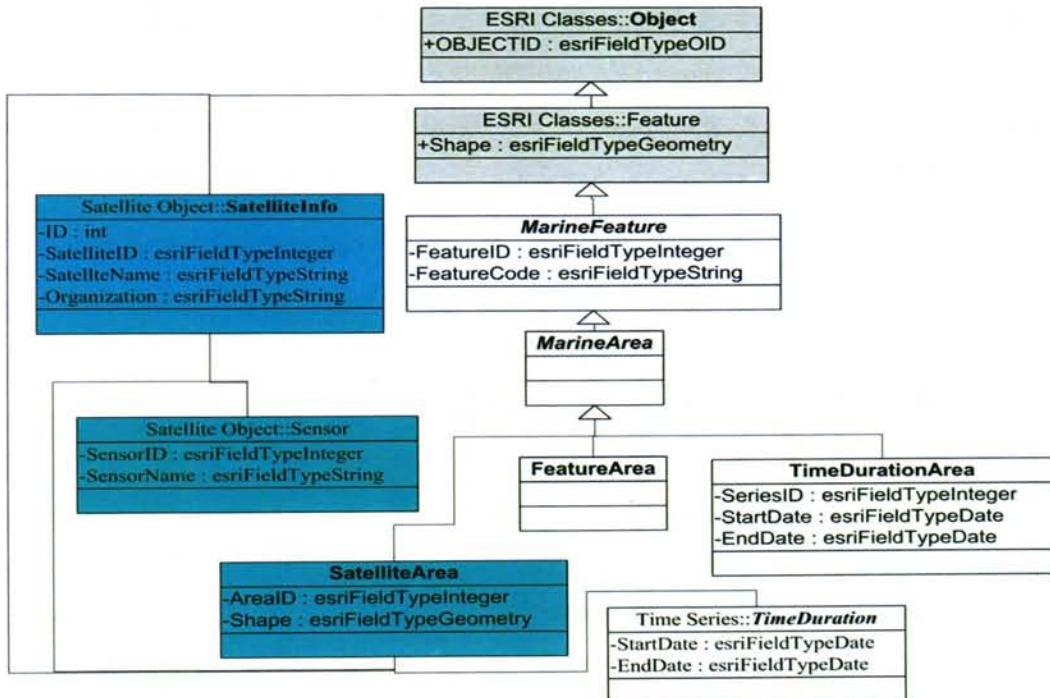


图 3.5 OSDSS 海洋数据模型中特征面模型的 UML 组织结构图

ArcMDM 中的网格数据模型 (Mesh) 最初是为了解决海洋模式输出数据在空间数据库中的组织而设计的，而在海洋卫星数据中也存在着大量的规则格网数据，例如很多海洋卫星的 3 级产品都是这类规则格网数据，目前的这类海洋卫星数据又多是规则格网点特征数据，如图 3.6 所示。

最后，利用扩展后的海洋数据模型，将收集到的各类海洋卫星数据及相关数据重新进行组织，然后利用 ESRI 的空间数据库引擎 SDE 将数据存储到关系数据库中进行统一管理，如图 3.7 所示。

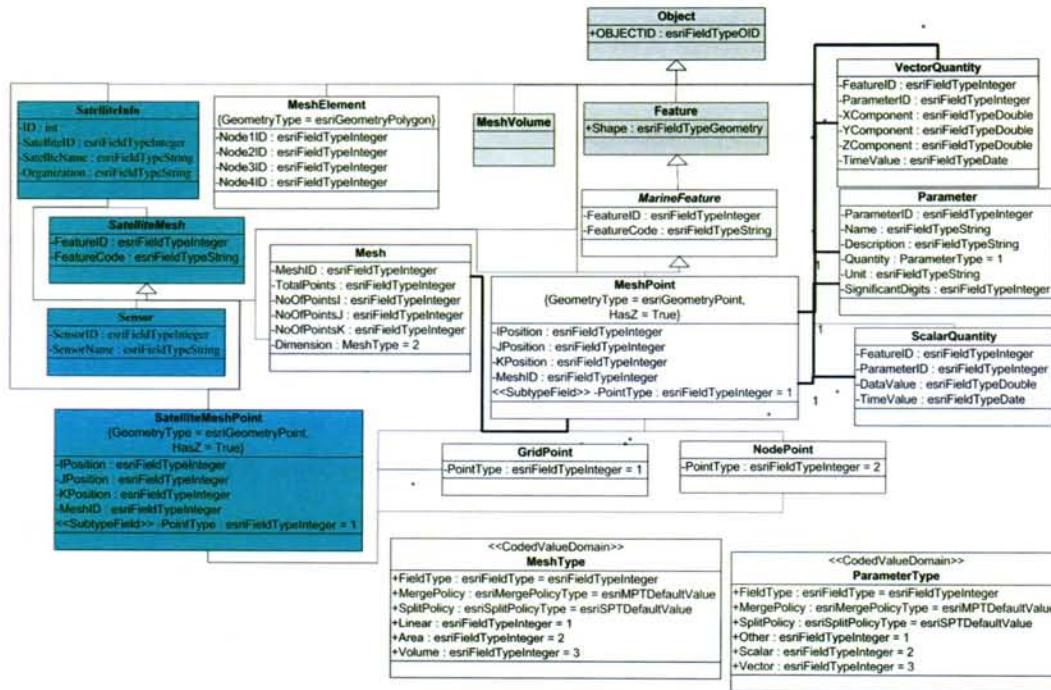


图 3.6 OSDSS 海洋数据模型中网格模型的 UML 组织结构图

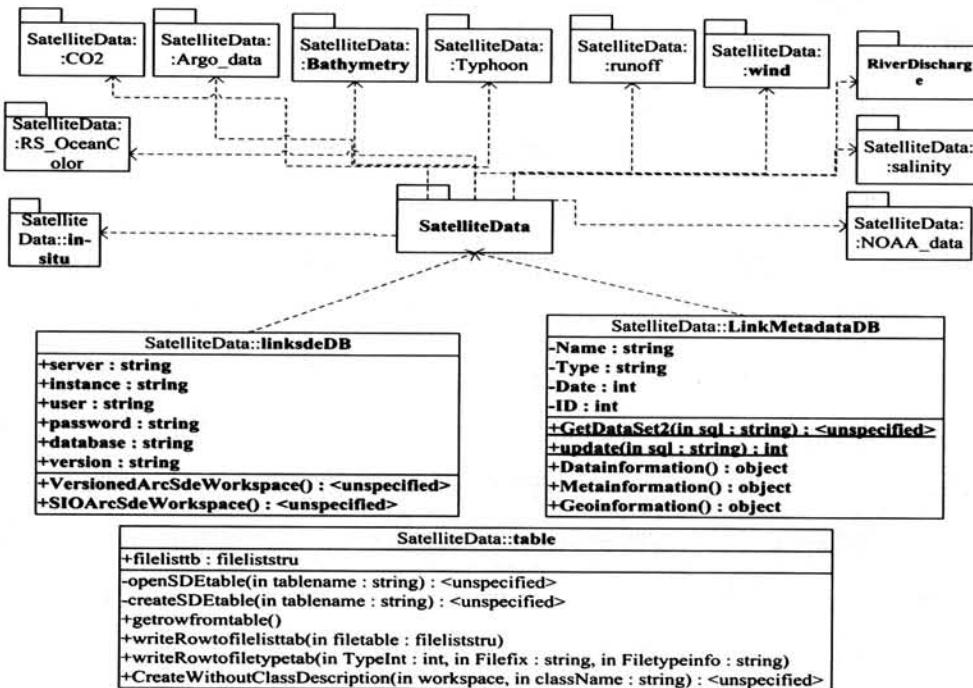


图 3.7 OSDSS 海洋卫星数据入库的 UML 图



3.4 海洋卫星数据库设计与开发

目前,能够支持用大型关系数据库管理空间数据的商用 GIS 软件有 ESRI 的 SDE、Oracle 的 Spatial Cartridge、Infomix 的 Spatial Datablade、Mapinfo 的 SpatialWare、SuperMap 等。采用关系数据库管理空间数据将成为 GIS 的发展潮流,这将增加空间数据的互操作性,并将 GIS 融入 IT 行业,并最终使 GIS 应用走向企业化和社会化。海洋卫星遥感数据库服务管理系统目前采用的 SDE 是 ESRI 的 ArcSDE, 关系数据库是 SQLServer 2005, 系统是基于 ArcGIS Engine (AE) 实现各类数据通过 ArcSDE 存入关系数据库 SQLServer 2005。

目前存入海洋卫星遥感数据库的数据主要有以下几种:

- (1) 海洋二所提供的海洋水色遥感数据,主要是 L3 级和 L4 级产品;
- (2) 从 NASA 网站上收集到的部分水色数据、风场数据、海平面异常数据以及降水量数据等;
- (3) 从 NOAA 网站上收集到的气候态数据,例如盐度的气候态月平均数据;
- (4) 各类基础地理信息数据,包括 1:400 万的中国沿海地理信息数据,全球 1:1000 万的海陆基础地理信息数据及海岸线的数据,精度为 0.5 分的全球高程数据等;
- (5) 少量的实测数据;
- (6) 河流流量数据;
- (7) 其他数据。

海洋卫星数据库中不仅有海洋卫星数据,例如海洋卫星水色水温数据、海洋卫星风场数据等,还有其他类型的数据资料,例如实测的温、盐、深数据、收集到的 Argo 数据、台风相关数据、盐度数据,河流的流量等数据。在建立海洋卫星数据库时,将其他数据也考虑在内的原因主要是:一方面海洋卫星数据自身的验证离不开实测及其他数据,另一方面海洋卫星数据的综合分析应用也离不开其他相关数据的支持。例如在分析台风时,既需要海洋卫星提供的数据来研究海洋表面温度的时空变化规律,也需要结合实测的数据来进行验证。所以,海洋卫星数据服务系统-OSDSS 的多源数据,不仅是海洋卫星、传感器的种类繁多、处理过程繁杂、海洋物理参数多样,而且还包括其他多种来源,形式多样的数据。要利用如此多源的数据进行综合分析,必须建立统一的数据模型及数据结构。

图 3.7 是海洋卫星数据入库的 UML 图,我们将各类海洋卫星数据以及与其相关的各类数据根据各自的特点和海洋卫星服务系统的服务需求抽象出数据服务的数据结构。这种数



据结构是带有属性的空间矢量和栅格，其 UML 图如图 3.2 所示。这样定义海洋卫星数据的结构不仅符合海洋卫星数据及相关数据的时空特性，而且与常用的 GIS 数据结构相似，可以利用已有的空间数据库管理引擎 ArcSDE 对海洋卫星数据库进行管理。

海洋卫星数据是由空间特征数据和属性特征数据组成，属性特征数据又由时间属性数据和专题属性数据组成。“属性、时间、空间”是这类数据所必需的三要素。因此，海洋卫星数据库是存储空间和非空间的卫星遥感数据的数据库系统，可以统一管理具有一定地理要素特征的海洋卫星数据集。海洋卫星遥感数据库管理的是具有空间属性的海洋卫星数据对象，对象的属性可以映射为关系数据库中的列（Column）或字段（Field），对象的行为则是对象的方法（Methods）和描述有效性规则的元数据表。海洋卫星遥感数据库管理系统采用关系型数据库管理系统管理其空间数据，用 ArcSDE 空间数据引擎解决存储在数据库中的空间数据与应用程序之间的数据接口问题。ArcSDE 通过层的方式管理海洋卫星数据，它为数据库中各层（Layer）建立空间数据索引，空间数据索引将层从一个逻辑分成小块结构，成为“cell”（单元格），层中的要素被分解到各个 cell 中加以描述，被存储在 cell 中的要素通过描述的特定属性进行划分以方便调用。最后，通过通信接口与客户端进行通信，XML 文件通过数据接口与数据库服务器进行数据交换和传输。在通信接口上系统采用自定义的消息格式使用标准 SQL 查询命令来完成各层之间的通信。

海洋卫星遥感数据库中的空间数据模型如 3.2 节所述。数据模型分为两种，一种是基于网格（mesh）的模型，另一种是基于特征（feature）的模型。基于网格的模型是将海洋遥感数据的信息空间视为在一定空间上分布的信息的集合体，其中的每个空间分布可以看作是从空间网格到空间属性的数据函数，这种空间数据模型可以用来表示连续的空间特征，例如海表温度（SST）的分布和海表叶绿素浓度的 3 级数据产品。而基于特征的模型将数据的信息空间视为离散的、可以标识的对象的集合，每个对象各带一个与空间数据相关得空间参数对象，这种模型适合表示离散的、不连续的特征，例如海洋卫星遥感中的等值线数据，每条等值线可以看作是具有某些属性的独立的空间对象。

实测数据以及多年来收集整理的其他数据也可以按照以上的数据模型来组织，例如某一测站的连续观测数据，既有时间上的连续性（一定周期），也有沿某条垂线的空间连续（断点连续），这样的数据可以把空间某一点看作是具有某些属性（盐度、温度、深度、ph、电导率等）和时间属性的空间特征（x、y、z）。另外，很多数据是以文本的形式存储的，也可以将这些数据按照不同的数据类型进行分类，具有空间信息的数据按照空间数据



表 3.1 海洋水色遥感 L3 级产品类型表

编号	Fields (字段名)	Type (数据结构)	说明
1	ACD	Text	440nm 海水黄色物质吸收系数
2	BBP	Text	55nm 水体后向散射率
3	CHL	Text	叶绿素 a 浓度
4	COL	Text	水色主波长
5	KD3	Text	490nm 水体漫射衰减系数
6	NDV	Text	归一化植被指数
7	ODD	Text	潜艇光学隐蔽深度
8	SDD	Text	海水透明度
9	TAU	Text	865nm 气溶胶光学厚度
10	VIS	Text	海面气象能见度
11	SSC	Text	水体悬浮泥沙浓度
12	LWn	Text	归一化离水副亮度
13	FLU	Text	680nm 荧光辐亮度
14	ICE	Text	冰厚
15	SST	Text	海表温度
16	TOA	Text	490nm 总吸收系数
18	FRT	Text	锋面 (由 sst-3B 提取)
19	VEL	Text	流场

表 3.2 海洋水色遥感 L3 级产品文件表

编号	Fields (字段名)	Type (数据结构)	说明
1	FileID	Short int	文件编号
2	Filename	Text	文件名
3	Filetype	Short int	文件类型
4	Filestartdate	Date	数据表征的物理量的起始时间
5	Fileenddate	Date	数据表征的物理量的结束时间
6	Timeinterval	Short int	数据产品的周期 (月,旬等)
7	Fileproject	Short int	投影类型 (容许空)
8	Filephy	Text	表征的物理意义
9	Fileclass	Short int	数据等级
10	Fileupper	Text	对应的上级产品名称 (容许空)
11	Filelower	Text	对应的下级产品名称 (容许空)
12	Lat_cen	Double	中心纬度
13	Lon_cen	Double	中心经度
14	Lat_max	Double	最大纬度
15	Lon_max	Double	最大经度
16	Lat_min	Double	最小纬度
17	Lon_min	Double	最小经度
18	Filedir	Text	文件地址
19	Filesize	Long int	文件大小
20	Satlite	Text	卫星



模型重新进行组织并进行入库。考虑到目前海洋卫星遥感数据通常是以单个数据文件的形式提供给用户使用的，这些单个文件中包含了一些关于数据的基本信息，而用户使用这些数据时仍习惯按原有的数据文件形式来查找和使用，所以这些数据文件的相关信息仍是数据库管理不可缺少的内容。另一方面，为了提高数据检索的效率，对海洋卫星数据及其他数据在入库的同时需要建立相关的数据描述的表文件。这些表文件独立于数据表文件，同时这些描述文件的表文件也可以进一步作为元数据库的信息源。如表 3-1、3-2 分别是对各类海洋水色遥感 L3 级数据产品类型的字段和每个单个文件的说明。在数据文件导入空间数据库的同时，需要同时将数据文件的这些说明信息同时存贮在数据库中和元数据库中。

3.5 海洋卫星数据库子服务系统

海洋卫星遥感数据库系统主要实现以下功能：(1) 将收集到的海洋卫星数据及其他数据，包括基础地理信息数据和其他与海洋相关的数据（如实测数据、气候态的数据等），自动录入数据库；(2) 用关系数据库统一管理多源的海洋卫星数据及其他数据；(3) 为海洋卫星遥感数据服务系统的其他子系统调用数据提供接口。

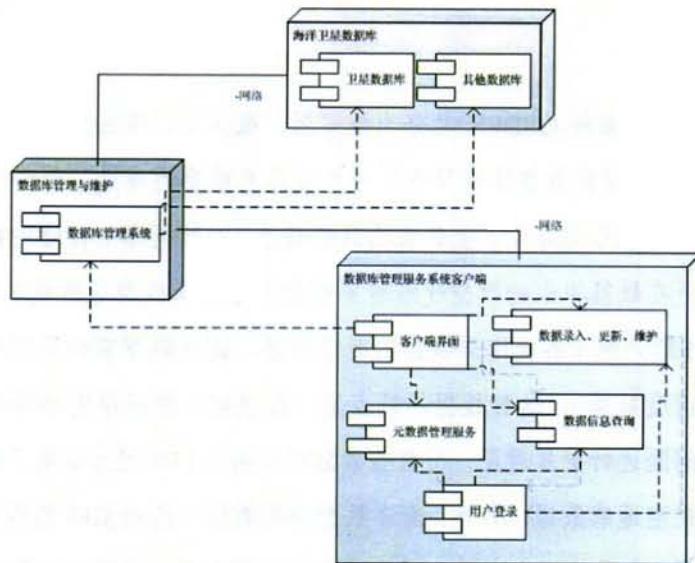


图 3.8 海洋卫星数据库管理系统部署

图 3.8 是海洋卫星数据库管理系统的部署，数据库管理服务系统客户端主要是数据库



管理、维护与更新的相关人员进行操作的界面。数据库管理系统的界面如图 3.9 所示，目前可以按照不同的数据来源及数据类型实现数据的批量入库，也可以对数据库中的数据进行浏览。



图 3.9 海洋卫星数据库管理系统用户界面

3.6 本章小结

海洋卫星数据服务系统-OSDSS 共分为数据层、服务层、服务支持层与客户层，作为 OSDSS 的基础，海洋卫星数据库设计研究与开发具有重要的意义。海洋卫星数据库管理系统首先需要充分了解各类海洋卫星数据的时空特性，对数据库中存储的数据进行合理的设计和规划，避免在数据库中的数据逐渐增多后由于管理杂乱而导致效率低下的问题。

本章首先详细地介绍了各类海洋数据的时空特性，这些数据有的是空间连续时间也近似连续（如海表温度数据），这种数据的特点是，在空间上按照规则格网进行存储，在时间上按照等时间间隔进行重复观测。而有些数据在空间上和时间上都是不确定的，例如某些实测数据或是航空遥感数据。另外，海洋数据有的类似于传统 GIS 的栅格数据，而有些又相当于矢量数据，但是由于海洋是个动态变化的观测对象，所以这些数据的时间属性是非常重要的，在海洋卫星数据模型的建立与海洋卫星数据库的研究与开发过程中要重点予以考虑。



在 ESRI 的 ArcMDM 模型基础上, 本文建立了海洋卫星数据的空间数据模型, 它是扩展了海洋卫星数据特征点、特征线、特征面以及网格数据的数据模型。利用扩展后的 ArcMDM 模型, 对收集到海洋卫星数据及相关的数据进行组织和存储。

本文海洋卫星遥感数据库服务管理系统采用了 ESRI 的 ArcSDE 和 ArcGIS Engine, 并将利用 ArcMDM 模型进行组织的海洋卫星数据及其他相关的空间数据导入到关系数据库 SQLServer 2005 中。目前海洋卫星遥感数据库服务系统已经能够导入和管理多种海洋卫星遥感数据及其他相关的数据。



4. 海洋卫星数据服务系统（OSDSS）的服务

国内外现有的海洋卫星数据发布网站可以提供的数据服务大多为数据的基本服务，包括数据集的介绍、数据查询、数据浏览、数据获取甚至是无需注册直接下载等，例如 NASA 的 Ocean Color, NOAA 的 ODBC, 法国 CNES 的数据中心等，其中一些网站(如 Ocean Color)也可以提供数据的空间分布图像，但并不能供用户自主操作，如图 4.1 所示。但是，基本的数据服务在数据日益增多而用户需求日益提高的今天，已经不能满足广大用户的需求。



图 4.1 一些海洋卫星数据的网站页面

目前主要有两种可以实现卫星数据网络可操作的方法，这两种方法同时提供具有一定分析功能和可视化功能的数据服务，一种是利用 OPeNDAP (Open-source Project for a Network Data Access Protocol) 和 GDS (GrADS Data Server) 等技术为支持的网络服务，另一种是利用 GIS (Geographic Information System) 技术为支持的网络服务。前者如美国 NASA 的 Giovanni 系统 (Berrick et al., 2009)、我国中科院南海所的南海物理海洋数据服务系统(徐超等, 2010)(如图 4.2 所示)，后者如中国的“数字海洋”公众版服务系统 (Zhang et al., 2011) (如图 1.5 所示)。

作为我国“数字海洋”的重要组成部分，本论文研究构建的海洋卫星数据服务系统 -OSDSS 是基于 GIS 技术开发的数据服务系统。该系统不仅提供基本的海洋卫星数据服务，例如数据查询、数据浏览、数据下载等，还提供元数据服务、数据的综合可视化服务以及



统计分析服务，基本满足了目前广大用户对数据服务的需求。

产品类别	时间	空间范围	状态	操作
海流数据	2010-01-01	南海	可用	查看详情
海流数据	2010-01-01	南海	可用	查看详情
海流数据	2010-01-01	南海	可用	查看详情
海流数据	2010-01-01	南海	可用	查看详情
海流数据	2010-01-01	南海	可用	查看详情
海流数据	2010-01-01	南海	可用	查看详情
海流数据	2010-01-01	南海	可用	查看详情

图 4.2 南海物理海洋数据服务系统

4.1 数据的基本服务

目前海洋卫星数据提供的基本数据服务，例如数据查询、数据访问、数据空间搜索等。



图 4.3 海洋卫星数据服务系统-OSDSS 网站界面

图 4.3 是海洋卫星数据服务系统-OSDSS 是基于网络的可以人机交互的数据服务系统



的主要界面之一。用户可以在左侧的各个限制框中填入查询的空间信息（也可中间的影像区域利用鼠标框选），如起始坐标的经纬度坐标、产品类型、卫星、时间分辨率、起止时间以及产品类型这些查询条件进行数据查找。查询结果会以列表的形式出现在查询框和影像框的下方。如果需要看看某个数据就可以在列表的前的选框上打勾。还可以其他状态或是基础数据，例如水深等值线数据你所选数据同时显示在中间的 Google earth 的卫星影像上，还可以查看该数据详细的元数据，如图 4.7 所示。

4.2 元数据服务

海洋卫星遥感元数据是对海洋卫星数据资源的规范化描述。对数据使用者，通过海洋卫星元数据，用户能够对海洋卫星数据资源，包括信息资源的格式、质量、处理方法和获取方法等各方面细节进行详细的、深入的了解。而对于数据的管理者而言，通过海洋卫星元数据服务系统，可以实现对海洋数据元数据信息的录入、管理和修正。具体来说，研究和开发海洋卫星元数据服务，建立海洋卫星数据的元数据服务能够为海洋卫星数据的用户以及管理者带来以下的好处：

- (1) 元数据可以使用户更方便地发现自己感兴趣的数据；
- (2) 元数据可以使用户更为快速地了解如何得到对自己有用的数据；
- (3) 元数据因为提供了数据来源信息，因此可以保护数据所有者的权益；
- (4) 检查元数据信息可以避免数据的重复备份；
- (5) 可以为数据之间的互操作提供一些基础的数据信息，例如数据格式等；
- (6) 可以追溯数据的提供者、制作者等信息，有利于控制数据质量；
- (7) 不同部门的数据信息可以共享；
- (8) 可以利用元数据标准和技术来描述并对外发布，提高数据的可用性和被利用率；
- (9) 数据管理者可以通过这些元数据对数据资源进行有效的管理；
- (10) 有了元数据还可以避免因为人员变动导致数据管理混乱；
- (11) 元数据一般都是按照元数据标准进行组织的，在一定程度上能够消除数据资源之间在语义上的独立性和异构性，可以进一步实现数据资源的整合和互操作。

本章主要介绍元数据的概念，能够借鉴到海洋卫星数据的元数据的标准，并在此基础上提出海洋卫星数据的元数据框架，研究、开发了海洋卫星元数据服务系统。



4.2.1 元数据的概念

最早在 1969 年代，为了有效描述数据集，Jack Mayers 就提出了元数据（metadata）这个概念，1973 年“metadata”第一次出现在一本产品的宣传册上，到了 1986 年，Jack Mayers 在美国成立了一家名为“METADATA”的公司（Greenberg, 2005）。元数据是信息技术和信息共享需求不断发展的产物，到了 20 世纪 90 年代中期，随着对空间信息需求的不断增强，元数据开始大量应用于空间信息领域。目前，理论上，元数据还没有一个统一规范的定义，常用有以下几种（陈喆民，2007； 张兵建，2008）：

- (1) 元数据是关于数据的结构化的数据。这个概念突出了元数据的结构化特征，从而使元数据作为信息组织的方式同全文索引有所区分；
- (2) 元数据是与对象相关的数据，此数据使其潜在的用户不必预先具备对这些对象的存在或特征的完整认识，它支持各种操作，用户可能是程序，也可能是人；
- (3) 元数据是对信息包裹的编码描述(如都柏林核心记录、GILS 记录等)，元数据之目的在于提供一个中间级别的描述，使得人们据此就可以做出选择，确定孰为其想要浏览或检索的信息包，而无需检索大量的不相关的信息；
- (4) 元数据是一组独立的关于资源的说明数据；
- (5) 元数据是用于描述数据的内容、覆盖范围、质量、管理方式、数据的所有者、数据的提供方式等信息的数据，是数据与数据用户之间的桥梁；
- (6) 元数据是关于数据的数据，用于说明数据的内容、品质、产生过程和背景、访问和获取方式以及其他有关特征。

从元数据的定义中可以看出，利用元数据可以对数据进行描述、查询，进一步实现更好的数据管理。如果有了元数据信息，数据的生产者或是提供方即使在很长时间以后使用或重用数据仍然方便快捷，数据的管理者还可以利用元数据对量多而杂的数据有更好的管理，节省大量人力物力，提高数据管理的效率和水平。另一方面，元数据能帮助数据使用者更快更准确地寻找和发现所需要的数据，使用户更好地了解数据的内容、质量、范围、使用限制等相关的信息，可以进一步评估这些数据是否符合其应用的需求，恰当地进行取舍。此外，无论是数据生产者，还是数据使用者都需要处理越来越多的数据，而元数据能为他们提供关于这些数据的关键知识，帮助其有效地保存、管理和维护这些数据，提高效率的同时提高了数据资源的利用率。



4.2.2 元数据的标准

为了更好地发挥元数据的效用，统一的元数据标准是必不可少的。元数据标准是描述某些特定类型资料的规则集合，一般会包括语义层次上的一个著录规则和语法层次上的规定，是从数据集获取元数据时为正确使用这些数据集而应遵循的标准，是数据共享的前提和提高数据共享应用系统综合效益的基础，因而建立行业性的元数据标准是非常必要的（陈喆民和王晓锋，2007）。

目前，国内外在空间数据的元数据建立过程中常用的元数据标准主要有以下如表 4.1 所示的四种。

表 4.1 四种常用空间数据元数据（Kang, 2010）

名称	组织	描述
目录交换格式（DIF）	NASA	目录交换格式（DIF）是用来描述地球科学数据集元数据标准和用于创建记录 NASA 全球变化的主目录（GCMD）
ISO 19115	ISO	ISO 19115 定义了如何描述地理信息数据，包括地理信息数据的内容、时空范围、数据质量、获取和使用方法等。该标准定义了 20 个核心要素的 300 多个元数据元素，非常的详细。
地理空间元数据标准（CSDGM）	FGDC	通常简称 FGDC 元数据标准，是美国官方的联邦元数据标准，包括约 300 个元数据元素。
都柏林核心元数据标准	Dublin Core Metadata Initiative	包括 15 个核心元数据元素，在对数据进行描述的时候，这些“核心”元素可以广泛扩展，用来描述某一特定的数据资源。

目前国际上常用的海洋元数据的标准主要有联合国教科文组织（United Nations Educational Scientific and Cultural Organization- UNESCO）政府间海洋学委员会（Intergovernmental Oceanographic Commission-IOC）国际海洋资料和信息交换（International Oceanographic Data and Information Exchange IODE）机构的 MEDI（Marine Environmental Data Inventory）、欧洲海洋观测系统数据目录（European Directory of the Initial Ocean-observing System-EDIOS）元数据、海洋气候学小组的海洋数据获取系统（Ocean Data Acquisition System-ODAS）的元数据以及全球 Argo 计划的 Argo 数据的元数据（薛惠芬，2004）。这些元数据的主要内容及特点如表 4.2 所示。

我国在 2010 年 8 月发布了由国家海洋信息中心起草的《海洋信息元数据》（HY/T 136-2010）标准。该标准详细地阐述了有关海洋信息元数据的实体集信息、标识信息、内



容信息、分发信息、数据质量信息、参照系信息、元数据扩展信息、限制信息、维护信息、数据类型信息、覆盖范围信息、引用和负责单位信息 12 个方面的内容的相关规定，包括元数据数据字典、元数据扩展和裁剪规则等规定，还给出了 2 个实例供与海洋元数据生产和负责相关的相关单位参考。

表 4.2 四种涉海元数据的内容及特点（薛惠芬，2004）

元数据	内容	特点
MEDI 元数据	目录标识、目录标题名称等 33 项内容	覆盖面广，内容详细，是一个比较全面的元数据
EDIOS 元数据	分为标题信息和数据描述信息两大类	针对性较强，有些信息需要观测平台的维护或是使用者提供，与常用元数据有较大的差异
ODAS 元数据	分为 A 部（包括观测平台、地理位置、仪器、调查参数、观测计划和质量管理体系）和 B 部分（负责机构、实时数据管理中心和数据归档中心的联系信息）	重视数据质量，地理位置描述比较全面，侧重描述调查资料，信息简洁，便于分发。
Argo 元数据	包括一般信息、投放信息、参数信息、传感器信息在内的 40 多项内容。	针对性强，更侧重于 Argo 浮标本身的特征的描述，而对观测资料的描述较少

4.2.3 海洋卫星元数据内容及框架

海洋卫星数据的元数据主要是针对海洋卫星数据，按照一定的元数据标准来描述海洋卫星数据的数据，也就是说海洋卫星元数据是关于海洋卫星数据的描述信息，是关于海洋卫星数据基本信息、标识信息、空间信息、分发信息等方面的描述信息，可以方便海洋卫星数据的管理者方便、高效地管理海洋卫星数据，使海洋卫星数据的使用者快速、有效地使用海洋卫星数据，海洋卫星数据的生产者（或是提供者）可以利用此平台自动或是半自动地批量生成元数据并将元数据录入海洋卫星元数据库进行统一管理。可以将海洋卫星元数据服务系统作为管理数据、发现数据、使用数据的一个综合的平台。

本文建立的海洋卫星元数据服务系统以《海洋信息元数据》（HY/T 136-2010）标准为基础，针对海洋卫星数据的特点和海洋卫星数据服务系统-OSDSS 的需求，提出了一套适合于海洋卫星数据的元数据标准框架，并在此基础上设计开发了海洋卫星元数据服务系统。表 4.3 是海洋卫星元数据的主要内容以及对应的 XML 元素，海洋卫星元数据主要包括海洋卫星元数据基本信息、数据基本信息、地理信息、存储信息、时间信息、产品信息、附件信息、数据质量信息等八个方面的内容。图 4.4 是海洋卫星元数据包的概念框图，图 4.5 是海洋卫星元数据的 XML 表结构。



表 4.3 海洋卫星元数据的主要内容及对应的 XML 元素

内容	XML 元素	描述
海洋卫星元数据	OC_Metadata	代表整个海洋卫星元数据
元数据基本信息	Baseinfor	元数据的基本信息，例如元数据的制作单位等
数据基本信息	Datainfor	数据的格式，文件大小，类型，产品等级等
地理信息	Geoinfor	地理空间参考信息，空间范围等
存储信息	Storinfor	数据的存储地址或单位，负责人员信息等
时间信息	Timeinfor	产品表征的日期、周期等信息
产品信息	Proinfor	数据产品的提供者或是生产者信息
附加信息	Extinfor	数据的其他附加信息，可以扩展
数据质量信息	Quainfor	有关数据质量的描述信息

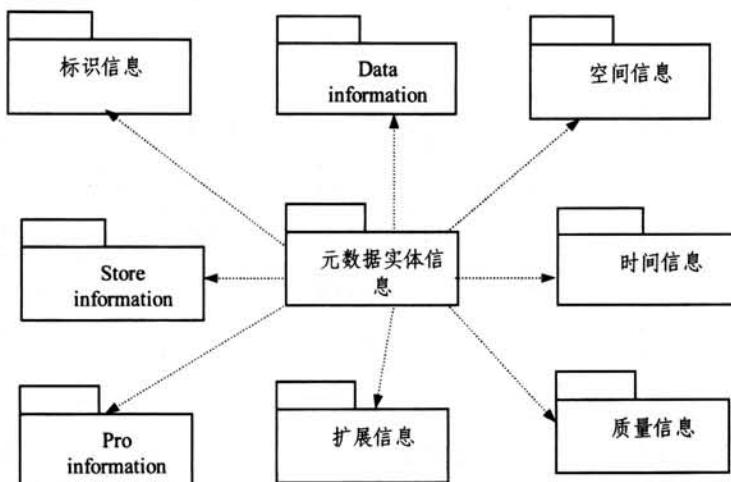


图 4.4 海洋卫星元数据包的概念结构

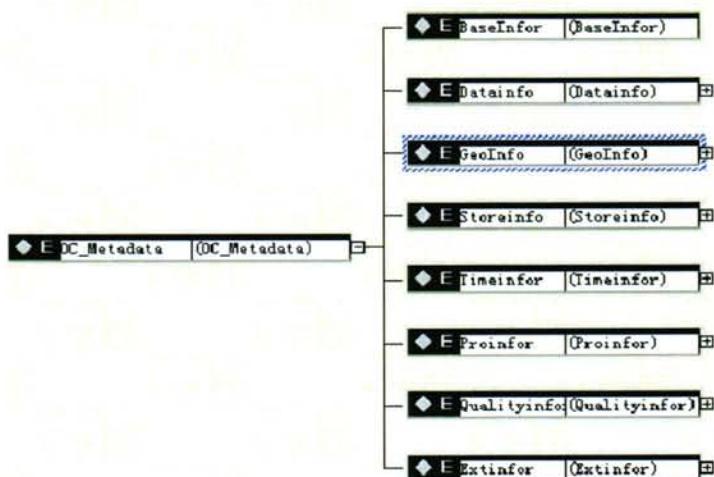


图 4.5 海洋卫星元数据 XML 表结构



海洋卫星元数据管理系统是对海洋卫星元数据进行创建、收集、整理、修改、录入等管理以及提供给用户供用户查询，是海洋卫星数据服务系统-OSDSS 的重要的服务内容之一。图 4.6 是海洋卫星数据的元数据服务的三层体系结构，包括数据层、服务层和用户层。数据层是海洋卫星元数据的数据库管理和维护层，服务层负责各类海洋卫星数据（包括水色数据、风场数据等）的数据产品与元数据之间的接口，以及海洋卫星元数据系统的用户管理接口等。用户层主要给用户使用，能够实现元数据创建、修改、录入、查询等功能。

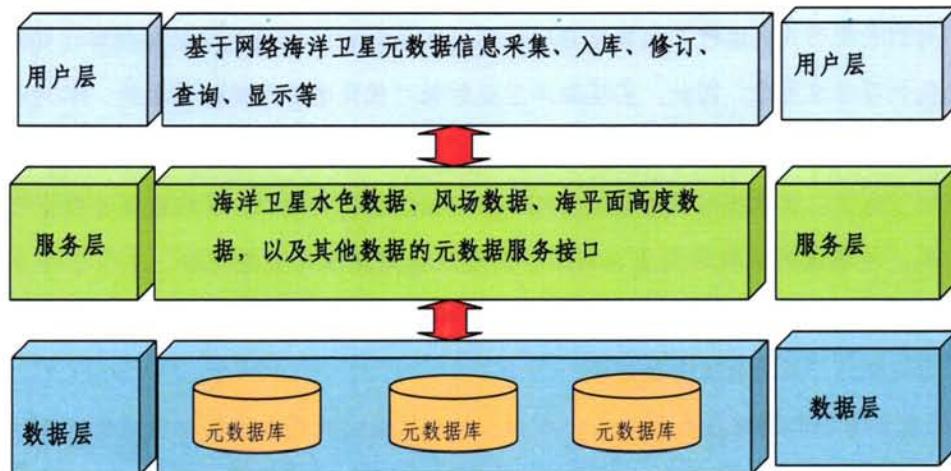


图 4.6 海洋卫星元数据服务体系结构



图 4.7 海洋卫星元数据服务系统用户界面及元数据查询界面

海洋卫星元数据服务系统的用户界面如图 4.7 所示，主要包括两个介绍性的用户界面：



海洋卫星元数据简介、元数据组织结构介绍，五个元数据管理界面新建元数据、修改元数据、导入元数据、元数据发布以及元数据类别管理，以及用户注册与登录等界面。另一方面，在海洋卫星数据服务系统-OSDSS 中，在数据的查询中也会用到元数据的相关信息进行查询。在数据的查询结果中，可以查看每个数据的元数据信息，如图 4.7 所示。

4.3 数据的可视化服务

海洋卫星数据可以表征的海洋环境参数多种多样，每个参数又有多种级别的产品，具有不同的表现形式，这种多元数据会耗费用户大量的时间和精力处理和理解这些数据，给可视化处理带来困难。因此，实现海洋卫星数据可视化服务是迫切需要的。本文建立的可视化服务不仅提供给用户指定图幅的平面图可视化结果（如图 5.4、5.5、5.6 等所示），而且开发了海洋卫星数据与商业化软件 Google Earth 的转化接口，可在线观看数据可视化后的结果，使数据的表现形式更为形象，所展现的海洋现象更易理解。本节主要介绍基于 KML 和 Google Earth 可视化的相关技术，并以 2009 年 8 月莫拉克台风期间各类海洋卫星数据为例介绍了可视化服务的应用。

随着计算机和网络技术的发展，如今已经可以通过网络在线获取和分析大量的卫星数据。2006 年 6 月 Google Earth 发布后成为一个非常受欢迎的网络产品，利用 Google Earth 的客户端产品可以在虚拟的世界里“飞往世界各地”，并在客户机上对感兴趣的地点进行放大浏览，还可以添加信息，共享给其他用户（Butler, 2006）。Google Earth 提供了一个虚拟地球，作为地球科学数据可视化的三维平台已经在科学的研究中起着越来越重要的作用，成为许多研究人员展示科学数据和成果的平台。目前已经被应用于许多领域，例如气候变化、气候预测、自然灾害（如海啸，飓风）、环境、旅游、自然地理的、历史说明甚至是研究总统选举等问题（Chen et al., 2008）。

KML（Keyhole Markup Language）是一种基于 XML（eXtensible Markup Language，可扩展标记语言）语法标准的标记语言，采用标记结构，含有嵌套的元素和属性，目前已被用作开放地理空间联盟（OGC）的事实行业标准，其元素的树状结构图如图 4.8 所示。KML 由 Google 旗下的 Keyhole 公司发展并维护。根据 KML 语言规则编写的文件就是 KML 文件，可以应用于 Google 地球相关软件中（Google Earth, Google Map, Google Maps for mobile...），用于显示地理数据，包括点、线、面、多边形、多面体以及模型等。KMZ 文件



是压缩过的 KML 文件和其他相关的文件的压缩包。这样，用户就可以将包含丰富信息的地地标文件打包归档，便于管理和发布。

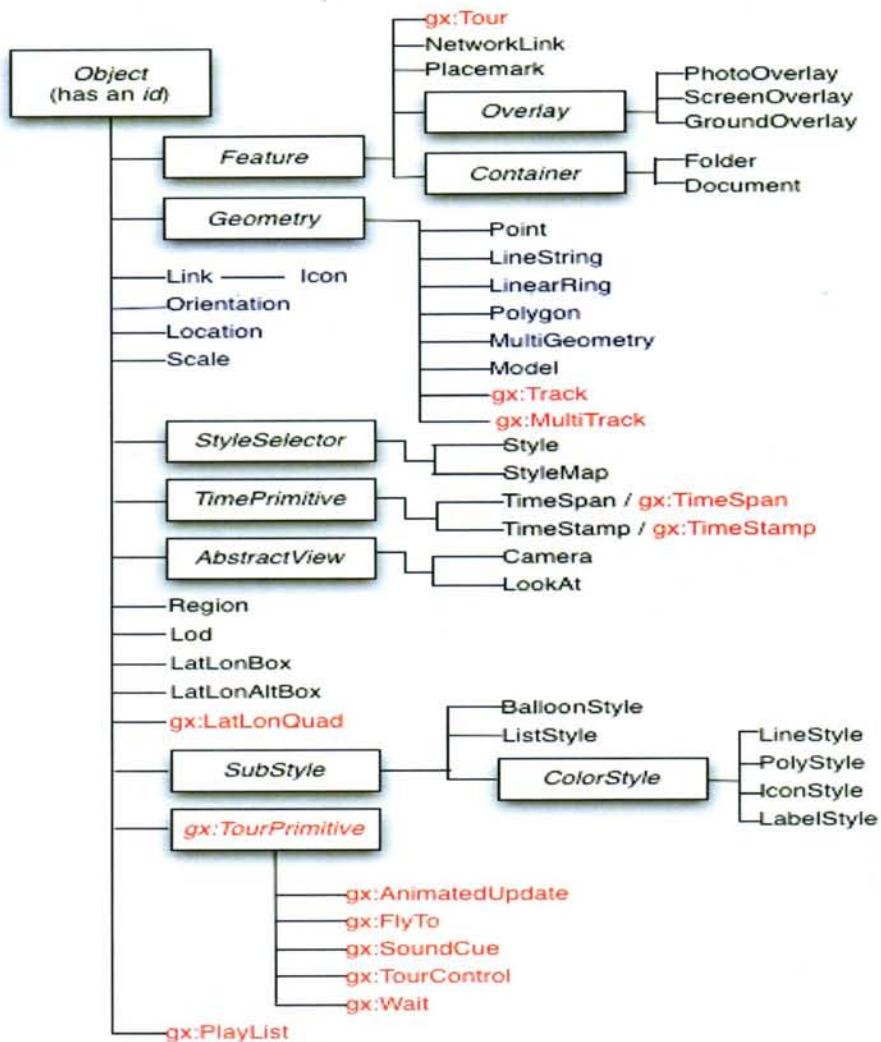


图 4.8 树结构图 (<https://developers.google.com/kml/documentation/>)

目前，KML 的应用十分广泛。Shi 和 Meng (2006) 利用 Google Earth 将多源数据统一集成显示，取得了较好的效果。Chen 等 (Chen et al., 2008-2010) 开发了多种工具，利用 KML 技术将美国 NASA 的戈达德地球科学数据和信息中心的卫星遥感数据，尤其是剖面的卫星数据（如 Cloudsat 数据）用 Google Earth 来展示，取得了非常好的效果。美国 NOAA 的研究人员也开发了在 Google Earth 中发布实时天气信息的工具，非常受大众欢迎。Duncan 等(2009)利用 Google Earth 来展示他们对地震的研究结果，也是非常形象直观的。



Yamagishi 等人开发了一套基于网络的 KML 转换软件，用户可以在线对多种地质数据进行转换，并在 Google Earth 中查看数据的可视化结果。利用这种可视化模型，在 Google Earth 的基础上分析地震层析以及地球化学数据集，并结合地磁场模型来研究地震。阿拉斯加火山观测遥感组也已经开发了基于 KML 的网络程序，可以利用卫星数据监测火山和预报火山灰云的运动，同时通过网络实时公布研究成果，具体可以查看他们的网站 <http://ge.images.alaska.edu/>。



图 4.9 海洋卫星数据服务系统-OSDSS 网站界面

图 4.9 是海洋卫星数据的数据可视化的界面。海洋卫星数据来源不同、物理参数不同、层次不同，因此数据的可视化处理往往也不同，为了更好地显示数据，在此我们也开发出一套基于 Google Earth 的可视化服务系统，并能直接下载 KMZ 格式的海洋卫星数据，方便用户在 Google Earth 等相关软件上直接显示这些数据。海洋卫星数据可视化首先要充分了解各类海洋卫星数据的特点，尤其是相对陆地，海洋现象，通常覆盖范围广，重复周期短，因此，时间信息是在海洋卫星可视化数据所必需考虑的。海洋卫星数据不仅有二维平面网格数据，还有垂直的三维剖面数据。具体地海洋卫星数据可视化表达是以具有时间和其他海洋环境参量的属性值的点，线，面和体四个实体模型和网格模型为基础进行的。本节分三部分来介绍不同海洋数据的可视化技术。

4.3.1 海洋水色水温数据可视化

本节使用的海洋水色水温数据主要来源于国家海洋局第二海洋研究所的地面卫星接收站，以 3 级和 4 级数据产品为例。

其中 3 级产品是某单一海洋参量的文件，一般都是标准的格网数据，例如海表温度



(SST)、海表叶绿素浓度 (CHL)、悬浮泥沙浓度 (SSC)、海水透明度 (SDD) 等专题信息。4 级产品是这些专题信息进一步处理得到专题等值线产品。将这种数据转换为 KML 或是 KMZ 文件时，将包含海洋环境参数的专题图与包含地理坐标及坐标转换信息的 KML 文件同时放在一个格式为 KMZ 的归档文件包中。“Google 地球”浏览器可以读取 KMZ 归档文件，并按照 KML 的地理坐标信息对专题信息进行处理后就能正确地显示在 Google Earth 上了。

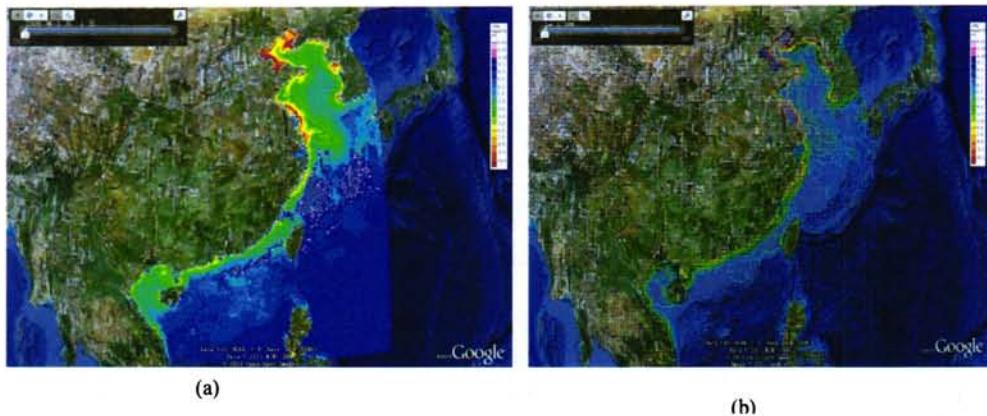


图 4.10 海洋卫星水色水温数据可视化

(a) 水色水温 3 级产品的可视化结果（以 2006 年的月平均产品为例），(b) 水色水温 4 级产品的可视化结果（以 2006 年的月平均产品为例）

图 4.10 (a) 是 2006 年 1 月至 12 月月平均叶绿素浓度的 3B 产品在 Google Earth 中的可视化结果。KML 文件中发送一个 WMS 请求，用来获取和处理级别 3B 的专题图。图 4.10 (b) 是 2006 年 1 月至 12 月月平均叶绿素浓度的 4A 产品在 Google Earth 上的可视化结果。直接将海洋水色遥感等值线数据的值转换为 KML 文件中标签<MultiGeometry>的子标签<LineString>的元素，并将等值线的属性转换为<LineString>的元素的属性。

4.3.2 海洋风场数据可视化

这里用到的海洋卫星数据是 QuikSCAT 卫星的 3 级风矢量数据，它是 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ 网格数据。风场数据往往带有很多个参数来表征风场的风速的大小、风向、风应力等参数。在风场数据可视化时，主要考虑风场数据的风力大小和风向两个参数。



表 4.4 风场模板

Wind Template	Wind Speed Range (units: m)
	<0.7
↑	0.3-1.5
↑	1.5-3.3
↑	3.4-5.4
↑	5.5-7.9
↑	8.0-10.7
↑	10.8-13.8
↑	13.9-17.1
↑	17.2-20.7
↑	20.8-24.4
↑	24.5-28.4
↑	>28.4

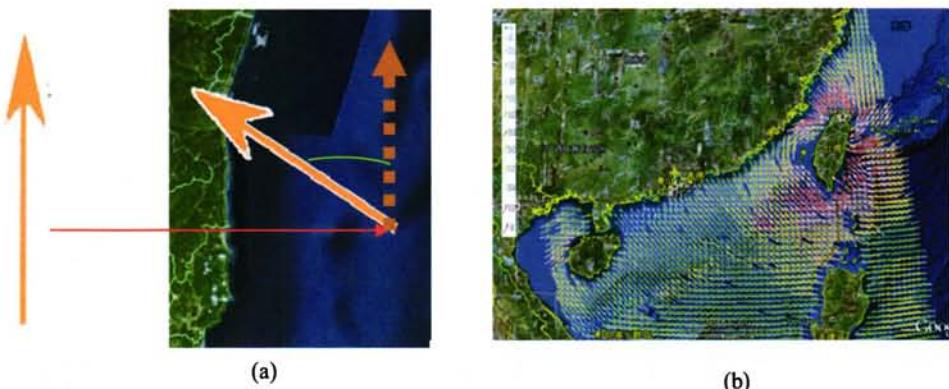


图 4.11 海洋卫星风场数据可视化（1999 年 8 月 8 日）

具体就是利用表 4.4 所示的风场数据的模板，按照风速的大小将风力划分为 12 级，每一级用不同大小和颜色的箭头表示，箭头的方向表示风向。图 4.11（a）是表示如何将表



4.4 中风矢量模板应用到数据的可视化结果中。就是首先按照风速的大小选择合适的模板，然后再将模板按照风的方向进行旋转，使模板的箭头与风向一致，这样就可以利用这些模板来对风矢量数据进行可视化，如图 4.11 (b) 所示。风场 KML 文件，首先根据风速从表 4.4 中定义一个合适的风矢量模板图标，然后定义的模板的显示范围、方向、以及强度，最后将每一个网格上的风矢量数据进行转换后组织和管理好相应的属性，最终导出为 KML (KMZ) 归档的压缩文件。

4.3.3 其他数据可视化

CloudSat 卫星是美国 NASA 于 2006 年 04 月 28 日发射的，可以记录云的垂直剖面信息，可以提供了一个从大气顶部开始到海表面的云的垂直结构分布。在此，我们使用 NASA 的戈达德地球科学数据中开发的 GIOVANNI 系统获得 CloudSat 的 KMZ 文件，在 Google Earth 上打开，结果如图 4.12 所示。

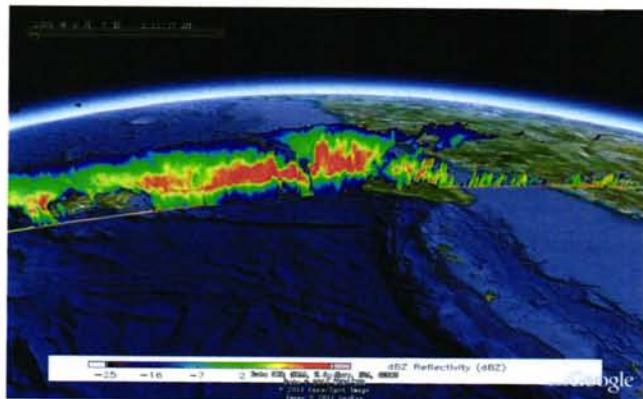


图 4.12 CloudSat 数据可视化（2009 年 8 月 7 日）

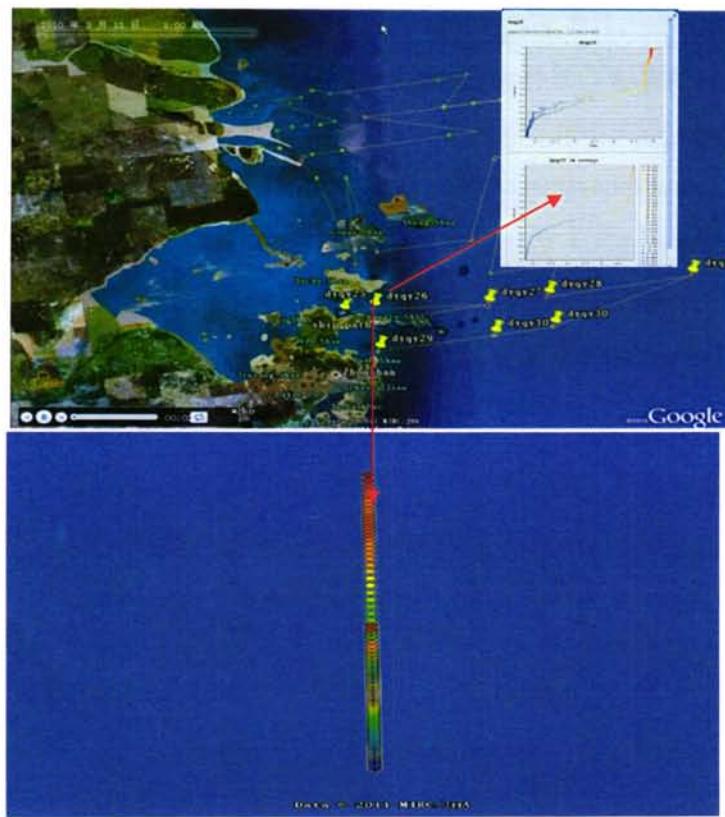


图 4.13 实测数据（2010 年长江口航测）

降雨数据来源于 NASA 的另一颗卫星 TRMM，于 1997 年 11 月发射成功，是专门用于测量热带、亚热带降雨的气象卫星（Kummerow 等，2000），包括降雨相关的各类物理参数，如降雨速率、降雨频率、平均表面降雨量等，这些参数的 KMZ 文件也可以在 GIOVANNI-TRMM 网站上获得。

另外，还有一些实测的航测数据也可以按照 KML 语言的规范，转换为 KMZ 文件。如图 4.13 所示为 2010 年长江口某一个航次的温度数据，它是沿航线的一系列站点，在每一个站点，是沿垂向的按一定间隔进行采样的数据点，将数据按时间、地理位置、以及数据的温度属性等依次转为 Google Earth 能够读取的 KMZ 文件。

4.4 多源数据综合可视化

利用 Google Earth 对这些海洋卫星参数进行综合可视化，可以直观又形象地表现台风过程中各种海洋环境参数的变化过程，有助于对海洋现象的进一步研究。Google Earth 作



为多源海洋卫星数据可视化的平台具有界面友好、操作流畅的优点，使海洋卫星数据的三维展示更生动直观，并可以与 Google Earth 上的其他数据一起进行综合判断。

在此以 2009 年 8 月台风莫拉克为例，图 4.14 显示了莫拉克台风期间海表叶绿素浓度 3 级产品数据、CloudSat 的云垂直剖面数据、QuikSCAT 风场数据的综合可视化结果（2009 年 8 月），图 4.15 显示了莫拉克台风期间海表叶绿素浓度、CloudSat 的云垂直剖面数据、QuikSCAT 风场数据的综合可视化结果（2009 年 8 月）。可以看到各个海洋参数随着时间的推移和台风的移动而引起的海洋环境参数的动态变化过程。有关台风对海洋上层环境的影响的具体的分析将在第五章第一节中详细介绍。

综上所述，海洋水色水温卫星 3B 数据网格数据（栅格数据）通常由网格表示，而海洋水色水温的 4A 级数据是等值线数据，海面风场数据是点矢量数据，CloudSat 卫星数据的三维垂直数据，这些数据可以用点，线，面积和体的带有时间和属性的特征数据来表达。目前，海洋水色水温的数据和风场矢量的 KMZ 文件可以在 OSDSS 网站上注册申请获得。

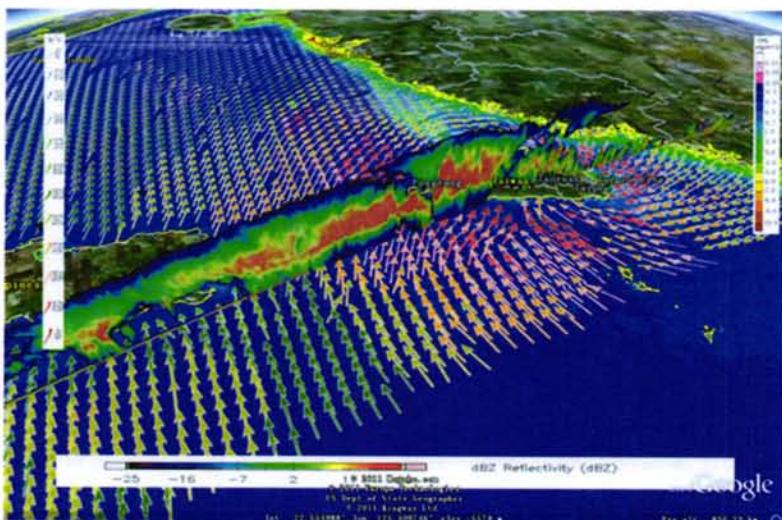


图 4.14 莫拉克台风期间 L3 级叶绿素浓度数据、CloudSat 的云垂直剖面数据、QuikSCAT 风场数据的综合可视化（2009 年 8 月）

基于 Google Earth 与 KML（KMZ）技术的海洋卫星数据可视化，不仅可以使用户在数据下载时选择下载转换好的 KML 或 KMZ 文件，也可以在线观看可视化效果。因为 Google Earth 是免费的商业软件，拥有良好的用户基础，利用 Google Earth 进行海洋卫星数据的二维和三维可视化更利于数据更广泛地被大众接受，进一步与其他数据结合，可以



充分发挥海洋卫星数据的效用。

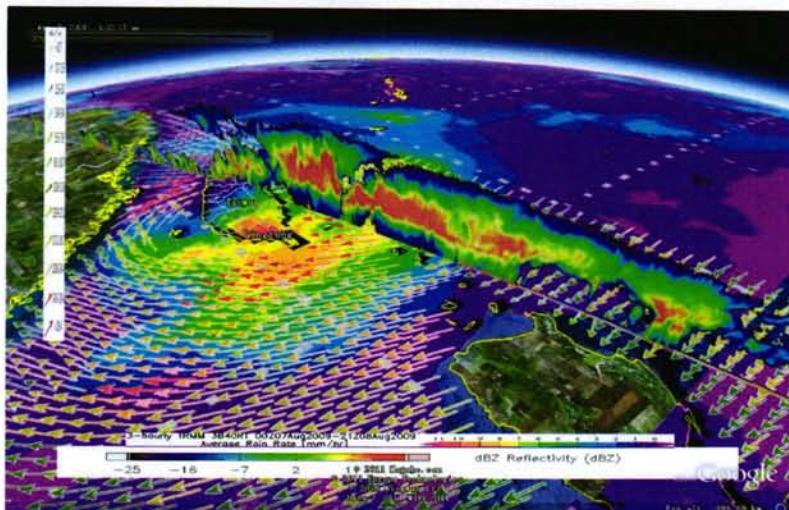


图 4.15 莫拉克台风期间 TRMM 降雨量数据、CloudSat 的云垂直剖面数据、QuikSCAT 风场数据的综合可视化（2009 年 8 月）

4.5 数据统计及分析服务

目前，基于网络的数据统计分析服务主要是客户端的用户按照一定的条件来定制需求，这些需求通过网络传回到服务器端，服务器按照定制好的程序进行处理，将处理好的结果以图件或是文件的形式传回给客户端的用户。

数据的统计及分析服务是数据服务研究的重要内容，目前海洋卫星数据统计主要是针对某单一类型的数据进行统计分析，例如统计数据集的最大值、最小值、平均值等信息，还可以进行长度计算以及面积计算等。具体的统计和计算服务功能在第 5 章中用两个数据服务的实例进行具体的说明，在此不多做阐述。

4.6 本章小结

海洋卫星数据服务是在海洋卫星数据库及海洋卫星元数据库的基础上开发研究的，本章主要介绍了海洋卫星数据服务系统-OSDSS 的基本数据服务、元数据服务、数据可视化服务和数据统计分析服务的内容以及结果。

数据基本服务包括数据查询、数据浏览、数据下载等。海洋卫星元数据服务可以提供



元数据的创建、更新、修改、查询等功能。数据可视化服务和数据分析服务，由于数据本身的物理含义的不同，对这些数据可视化和数据分析的需求也是不同的。例如海表温度、海表叶绿素浓度数据的可视化服务主要是二维的可视化服务，而对这些数据的统计分析服务也主要是一些网格数据的代数运算，例如统计多年平均等。而对于剖面数据，需要三维可视化的服务，还需要对数据进行平滑处理以及简单的空间判断等，例如按规定的条件找出温跃层的起始位置等。



5. 应用实例

研究海洋卫星数据服务的目的是为各种海洋科学研究以及海洋生产生活提供数据支持和数据分析的平台。本章利用本文开发的海洋卫星数据服务系统-OSDSS 平台，以台风过境时引起的海洋环境变化的分析及全球大河冲淡水季节变化的分析为应用实例，来阐述 OSDSS 重要的应用价值。

图 5.1 是海洋卫星数据服务应用实例的使用流程。首先是数据预处理阶段，主要包括数据格式的转换、数据参考坐标和数据属性的一致性检验等，并将这些数据导入数据服务系统。其次，将导入的数据集成到 OSDSS 中。再次，利用数据服务系统提供的基本数据服务，可以对输入的原始数据按需求(按时间，按空间范围或是按某一属性等)进行查询、浏览和出图等基本的数据服务。最后，并在基本数据服务的基础上根据最终的目的对数据进行缓冲区分析、统计分析等空间分析，例如对台风的影响海域确定时可以考虑以台风的 7 级风圈或沿台风路径 50 公里的范围做缓冲区，并结合相应的海域边界来确定研究区域。河流冲淡水的分析可以用河流数据和河流的淡水通量数据作为分析河流冲淡水的一个条件，然后在空间分析的基础上得到需要的分析结果。

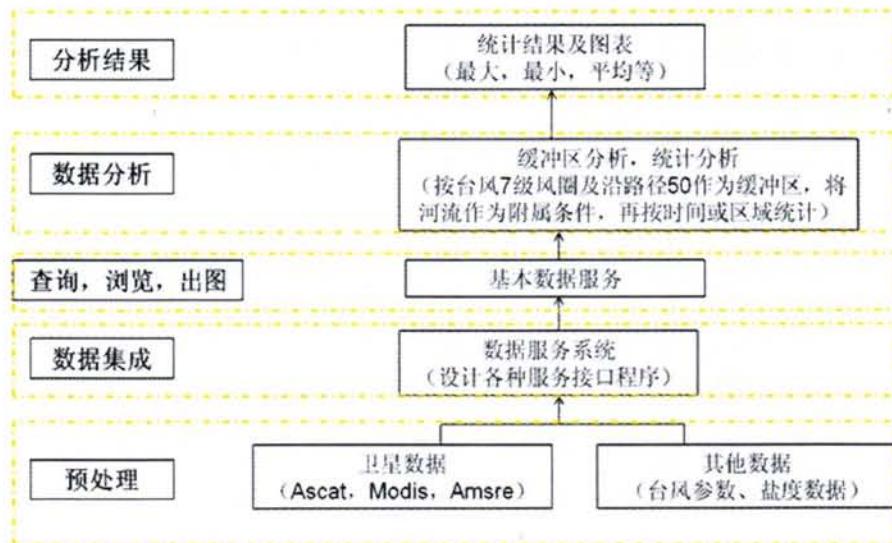


图 5.1 海洋卫星数据服务应用流程



5.1 数据服务系统在台风研究中的应用

本节主要利用海洋卫星数据服务系统-OSDSS, 分析和研究台风过境海域水色水温环境的时空变化。台风过境后海洋最显著的响应是台风过境区域的海表温度下降(Fisher, 1955; Leipper, 1967; Price et al., 1978; Price et al., 1994; Dickey et al., 1998; Walker et al., 2005), 会使该海域的叶绿素浓度升高 (Shi and Wang, 2007; 赵辉, 2007)。在此以 2011 年台风“梅花”为例, 说明 OSDSS 在分析台风对海洋水色水温环境的影响中的应用。

5.1.1 台风对海洋环境的影响

近年来, 随着全球气候的变化, 影响我国东南海域的台风也有增强增多的趋势 (付东洋, 2009)。台风常产生于太平洋东部及印度洋的热带洋面上, 主要是由于热带海面受太阳直接照射使海水温度升高, 海水蒸发强度大, 蒸发的水汽在抬升过程中凝聚并释放热量, 从而促进了对流运动, 令海面气压下降, 使周围的暖湿气流流入, 再抬升, 循环反复, 因受到地转偏向力的影响, 这些流动的气流旋转越来越猛烈, 从而形成台风。在广阔的大洋上, 这个循环的影响范围可达数百至上千公里。台风过境会带来大风和暴雨, 甚至是特大暴雨等强对流天气, 对海洋环境、海岛、海岸带都会造成一定的影响。台风中心, 也称台风眼, 风平浪静, 天气晴朗, 而台风眼附近则为风雨区, 风大雨大。

台风是一个强大而深厚的气旋性漩涡, 发展成熟的台风, 其底层按辐合气流速度大小分为三个区域: 外圈, 又称为大风区, 自台风边缘到涡旋区外缘, 半径约 200-300km, 其主要特点是风速向中心急增, 风力可达 6 级以上; 中圈, 又称涡旋区, 从大风区边缘到台风眼壁, 半径约在 100km, 是台风中对流和风、雨最强烈区域, 破坏力最大; 内圈, 又称台风眼区, 半径约 5-30km, 多呈圆形, 风速迅速减小或静风。按铅直方向可以分为低空流入层 (大约在 1 公里以下)、高空流出层 (大致在 10 公里以上) 和中间上升气流层 (1 公里到 10 公里附近) 三个层次。

1989 年世界气象组织将热带气旋划分成热带低压、热带风暴、强热带风暴和台风四类, 而按照《中华人民共和国国家标准 GB/T 19201-2006 热带气旋等级》将热带气旋分为热带低压、热带风暴、强热带风暴、台风、强台风和超强台风六个等级。这里按照我国的标准进行划分。具体分类等级见表 5.1。如果没有明确说明, 本文中所提台风一般是指热带气



旋，并不是特指表 5.1 中热带气旋中的“台风”等级。

表 5.1 热带气旋等级划分表¹¹

热带气旋等级	底层中心附近最大平均风速 (m/s)	底层中心附近最大风力 (级)
热带低压 (TD)	10.8 - 17.1	6 ~ 7
热带风暴 (TS)	17.2 - 24.4	8 ~ 9
强热带风暴 (STS)	24.5 - 32.6	10 ~ 11
台风 (TY)	32.7 - 41.4	12 ~ 13
强台风 (STY)	41.5 - 50.9	14 ~ 15
超强台风 (super TY)	≥51.0	16 或以上

台风经过漫长的发展会逐渐变得强大，如果登陆就会造成重大的人员及财产损失。但是，台风带来的降雨也给沿岸地区送来了充足的淡水资源，一次直径不算太大的台风，登陆后可带来 30 亿吨降水，在高温酷暑季节更能解除干旱和酷热。另外，台风可以使世界各地的冷热保持相对均衡。赤道地区气候炎热，台风能够驱散这些热量，否则热带会更热，寒带会更冷，温带也会从地球上消失。对于海洋来说，旋转的台风会引起中心附近 60 米深的海水混合。有许多研究表明，台风能够使海水垂直混合，并产生强烈的上升流 (Price, 1981)，对上层海水与深层海水之间的热量、能量和物质交换都会产生影响。台风可以将海洋下层的海水及营养物质带到海洋表面，浮游植物利用这些营养盐，再配合光和空气中的二氧化碳进行光合作用并生长繁殖 (Eppley and Peterson, 1979)。所以，台风导致的营养物质输入可以促进海洋浮游植物的生长，从而提高海洋初级生产力 (Lin, 2003; Siswanto, 2008; Siswanto, 2009; Zhao, 2009)，同时，浮游植物的生长会吸收空气中的二氧化碳，具有一定的固碳作用。海洋每年吸收大约 2GtC 的 CO₂，约占人类排放 CO₂ 的三分之一 (Houghton, 2007; Takahashi et al, 2009)。因此，研究台风对海洋水色水温环境的影响具有重要的意义。

2011 年第 9 号超强台风梅花是一次强度大、影响范围广的台风。它于 7 月 28 日 14 时形成于西北太平洋洋面上，此后于 7 月 31 日 02 时与 8 月 3 日凌晨两次升级为超强台风，最高风速达到 55 米/秒 (风力达到 16 级)，经过 11 天后，台风梅花的中心于 8 月 8 日 18:30 前后登陆朝鲜北部，登陆时台风中心附近最大风力有 23 米/秒 (风力达到 9 级)。这次台风给西北太平洋沿岸地区，包括中国的台湾、福建、浙江、上海、江苏、山东、辽宁以及

¹¹注：参考《中华人民共和国国家标准 GB/T 19201-2006 热带气旋等级》



日本、韩国、朝鲜都产生了很大影响，因此台风梅花具有一定的代表性。

5.1.2 GIS 技术在台风案例中的应用

近年来，国内外利用 GIS 技术对台风进行的研究越来越多，GIS 技术在研究台风事件中主要有两个方向：一是利用 GIS 制作台风信息发布与预报系统，二是利用 GIS 分析台风带来的影响以及灾害评估。



图 5.2 台风预报服务产品（郑卫红等，2010）

((a) 台风路径预报图, (b) 台风概率圆预报图, (c) 大风预报图, (d) 登陆区域预报图)

国内外利用 GIS 技术预报台风路径的研究有很多。华东师范大学的罗向欣等在 2007 年利用 ArcIMS 开发了台风信息发布系统(罗向欣等, 2007); 武汉理工大学的戴伟等(2009)开发了基于 ArcGIS Server 的台风预报系统; 新加坡的 Terry J P 和 Feng C C 利用 GIS 提取了西北太平洋上 1533 个台风事件的关键空间特征, 得出了在过去 60 年台风路径弯曲的一些特性, 并进一步分析了这些特性的时空变化与气候变化的关系; 台湾的 Ming-His Hsu 等人 (Hsu et al., 2010) 开发了基于 GIS 的台风应急响应的决策支持系统。此外, 许多研究者研究了基于网络 GIS 的台风预报系统技术, 其中的一些研究成果已经开始走向业务化



的应用。例如，郑卫红等（2010）将 GIS 技术应用到台风预报服务产品的制作中，利用 GIS 的地图表达技术对台风数据进行可视化表达，并利用 GIS 的分析技术制作台风路径影响范围图，得出了 GIS 技术能够较好满足台风预报服务的需求，图 5.2 是郑卫红等（2010）利用 GIS 技术制作的台风预报服务产品。

利用 GIS 技术分析台风对过境区域周边环境的影响以及对灾害的监测与评估也是近年来研究的热点之一。例如，在 1994 年王景来（王景来，1994）就提出 GIS 与遥感可以应用于台风灾害的监测与评估。随后冯浩鉴（冯浩鉴，1996, 1997, 1999）提出利用 GIS 来开发风暴潮灾害预估系统，并将风暴潮漫潭计算与 GIS 相结合，能够提前 12 小时或 24 小时给出风暴潮在本地区登陆的动态显示过程，给出致灾范围图，评估致灾地区的损失，到 1999 年此系统已经实际运行了。厦门市危房改造办公室所用的台风跟踪预警系统不仅可以记载和查询历次台风的数据资料，演示运行路径，还可以利用 GIS 空间分析能力实现对台风的监视、路径分析等，有助于决策者较好地把握台风的运动规律和动向，更好地辅助布置抗灾救灾工作，及时地安排危房屋的转移搬迁，以保障人民生命财产安全，减少损失（江春发和王仁谦，2003）。王军等（2008）提出我国应“集成开发基于多源遥感地理信息系统（RS-GIS）的台风灾情动态评估工具集”。近年来，此类研究越来越详细，并逐渐与相应的登陆陆地环境变化相结合，例如浙江大学的邓睿（2010）在他的博士论文中提到可以利用 GIS 技术与多源遥感资料来研究台风对陆地区域的降雨、降温和大风对植被造成的影响。

近来，已经有一些研究开始关注海洋表面的海表温度、叶绿素浓度等表征海洋上层空间物理和生物环境的参数受到台风事件影响而发生的变化（Price J F., 1981; Chen et al., 2012）。Liu 等人（2003）认为热带气旋能够增加海洋初级生产力，Siswanto E（2008）则利用 Argo 浮标及多源遥感卫星数据分析了海洋对台风米雷（Meari）的物理及生物响应。但是，利用 GIS 技术来系统地分析台风对海洋上层空间的影响的研究比较少，在此我们利用 GIS 空间分析的优势来分析在 2011 年台风梅花对菲律宾海、东海以及黄海的物理及生物环境的影响。

5.1.3 研究区域

台风梅花形成于菲律宾海，穿过东海和黄海最终在朝鲜登陆，如图 5.3 所示。按照台

风经过的三个海区(菲律宾海、东海和黄海)的7级风圈范围将研究区域分为三个部分即: PhilippineSea_7、EastChinaSea_7 和 YellowSea_7, 沿台风路径50公里的范围作为缓冲区, 将此缓冲区按每日台风经过的长度划分为A-M共13个研究区域。在此基础上, 可以根据数据的具体情况来选择不同的区域划分方法来研究海洋环境对台风的响应。

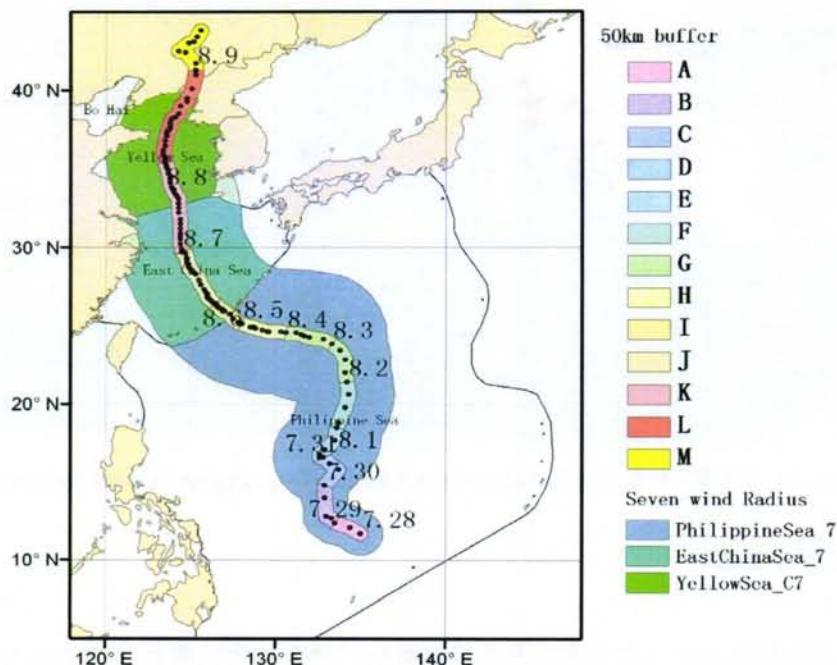


图 5.3 研究区域划分

5.1.4 台风数据

台风的信息来自福建水利信息网 (http://www.fjwater.gov.cn/fangxun_fj/index.jsp?sys=4) 和台风数据的网站 (http://weather.unisys.com/hurricane/w_pacific)。图 5.4 是福建水利信息网的界面, 可以在右侧的台风列表中选择年份, 按照台风编号可以选择需要的台风, 例如选择了 2011 年台风梅花, 则台风梅花的信息包括时间、经纬度坐标、中心气压、最大风速、移动速度、7 级风圈半径、10 级风圈半径、台风等级的示例以及不同国家给出的不同的预报路径示例都会显示在网页的左侧, 同时台风的路径会显示在网页的地图上, 当鼠标在台风路径上移动时, 左侧也会更新相应的台风信息。

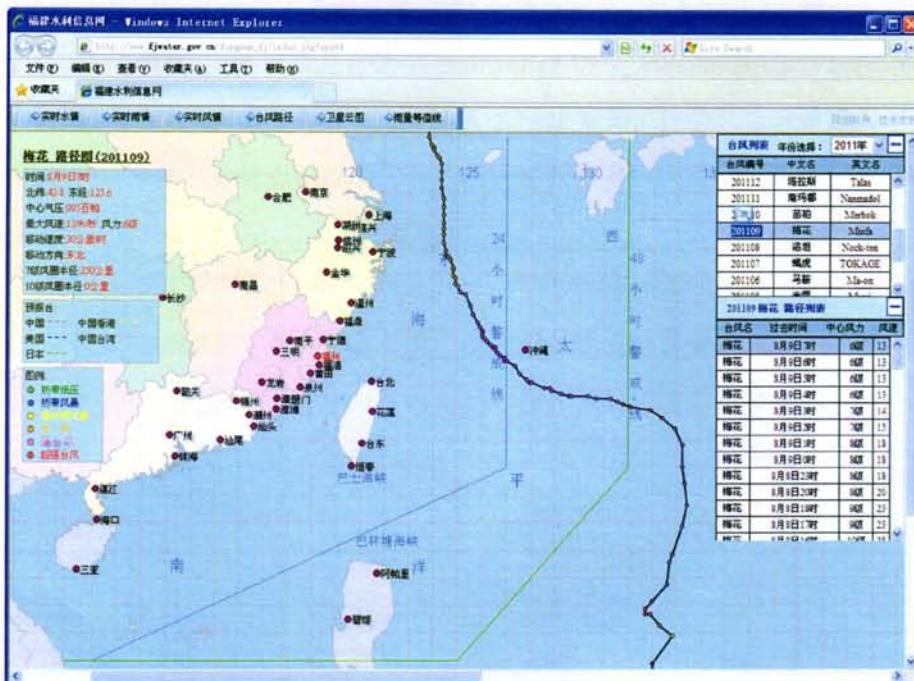


图 5.4 台风梅花的路径信息 (http://www.fjwater.gov.cn/fangxun_fj/index.jsp?sys=4)

5.1.5 海洋卫星数据

本实例使用的海洋卫星数据主要有风场数据、海表温度数据和叶绿素浓度数据。

5.1.5.1 风场数据

本实例中的风场数据是 Ascat 散射计的风场数据。2006 年欧洲航天局(European Space Agency-ESA)发射的 MetOp-1 卫星,其上搭载了 Ascat 散射计,它的工作频率是 5.3GHz, C 波段主动式传感器,风速在 4-24 m/s 的范围内时,风速测量精度达到 2m/s,风向测量精度为 20°,空间分辨率为 25km (Figa-Saldana 等, 2002; Verspeek 等, 2008)。星载散射计受云、雨等因素影响较小,可以昼夜观测,快速准确地获取海面风场信息,为观测和预报极端天气状况(如热带风暴)发挥着重要作用。但是由于降雨的影响,散射计往往不能对热带风暴的峰值风速作出准确的判断,从而限制了散射计对极端天气预报的能力(张毅等, 2009)。

本文所用的 Ascat 风场数据可以从美国喷气推进实验室(Jet Propulsion Laboratory-JPL)



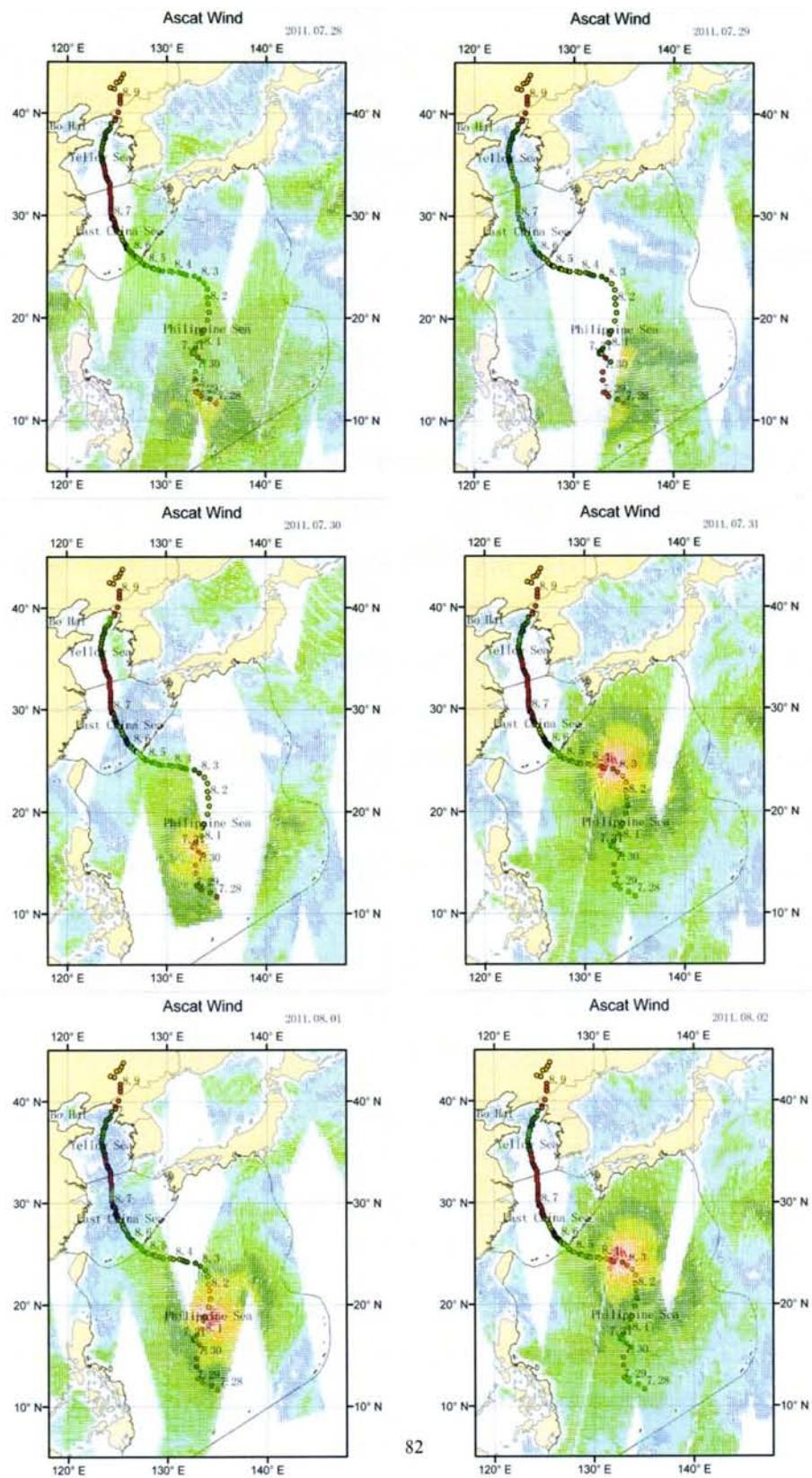
¹²的网站上下载。将下载的数据经过本文数据服务系统处理后，如图 5.5 所示。从图中可以看出梅花过境时，风场随之运动的过程，以及风力的大小及风向的变化。但是在由于 Ascat 散射计在风速大于 24m/s 时和有降雨影响时，测得的风速并不可靠，所以在统计菲律宾海，东海和黄海的最大风速时，只要是在台风期间（2011 年 7 月 28 日到 2011 年 8 月 9 日）的都采用 5.1.4 节中提到的台风数据中最大风速的值，而其余时间的取所选区域内 Ascat 数据的风速最大值。

5.1.5.2 海表温度数据

微波扫描辐射计 AMSR-E (Advanced Microwave Scanning Radiometer-Earth Observing System) 是由 NASDA (日本国家空间发展署) 研制装在 Aqua 卫星上的多波段扫描被动微波遥感器。AMSR-E 是一个 12 通道，6 个频率全功率型被动微波辐射计系统，频率分别为 6.925、10.65、18.7、23.8、36.5 和 89.0GHz。每一频率有垂直和水平极化两个通道，用来精确测量地球表面和大气自身辐射的微波信号，获得大气水汽、云层液态水、降水、海面风、海面温度、海冰、雪覆盖和土壤湿度等地球物理参数的信息，以了解全球水循环过程 (王振占和李芸，2009)。微波能够穿透云雾且衰减很小，不受云和气溶胶的影响，相比于红外手段能够很好地应用于恶劣天气条件下的海表温度的测量，所以本文用 AMSR-E 的海表温度数据来研究海面温度对台风事件的响应。

AMSR-E 数据产品可以从 REMSS (Remote Sensing Systems) 网站上下载得到，其网址是 <http://www.remss.com/>。数据经过本文海洋卫星数据服务系统-OSDSS 处理后，如图 5.6 所示，可以看出温度随台风梅花运动的轨迹上也有一个下降再回升的过程。

¹² http://podaac.jpl.nasa.gov/DATA_CATALOG/ascatinfo.html。



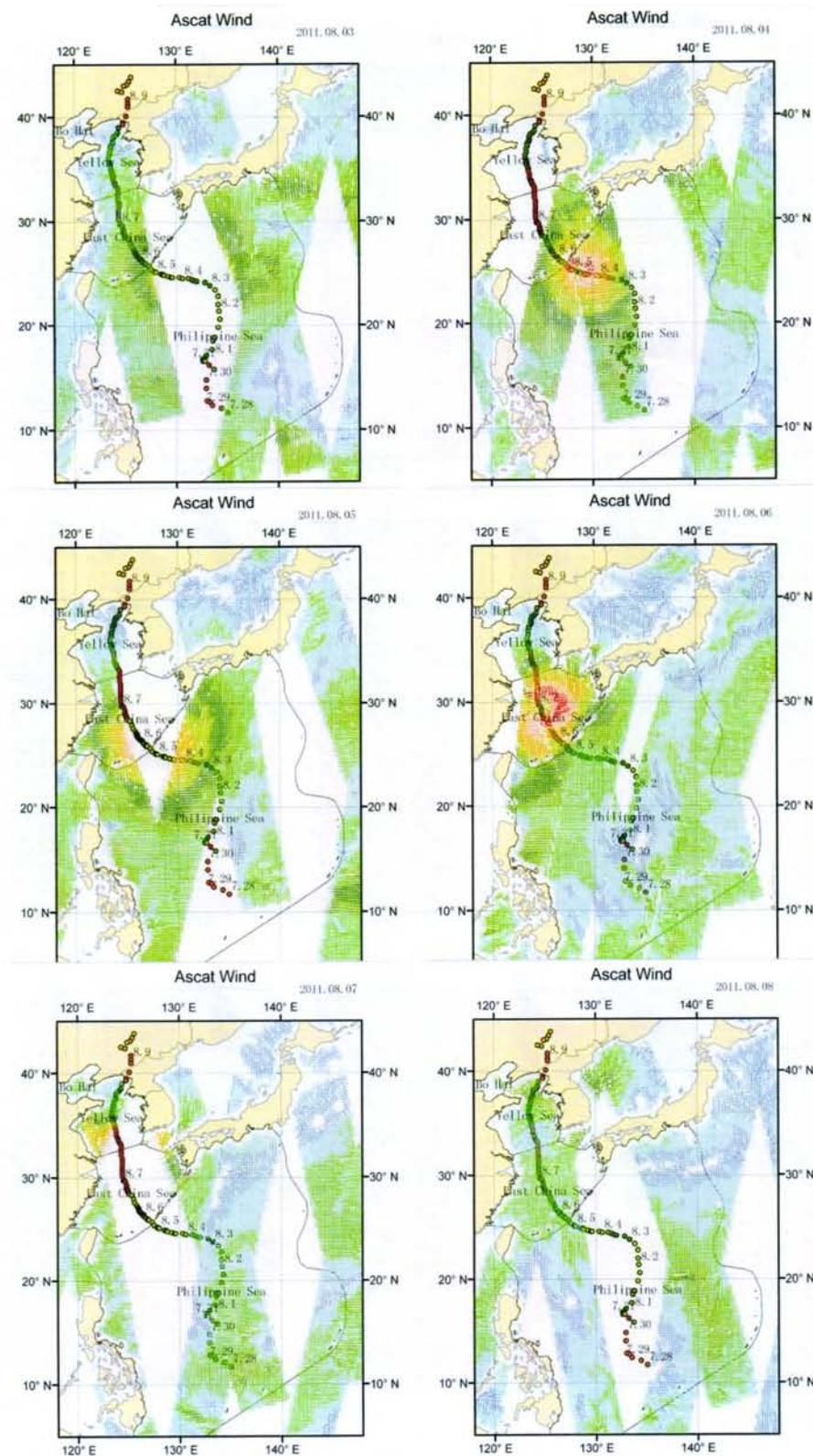
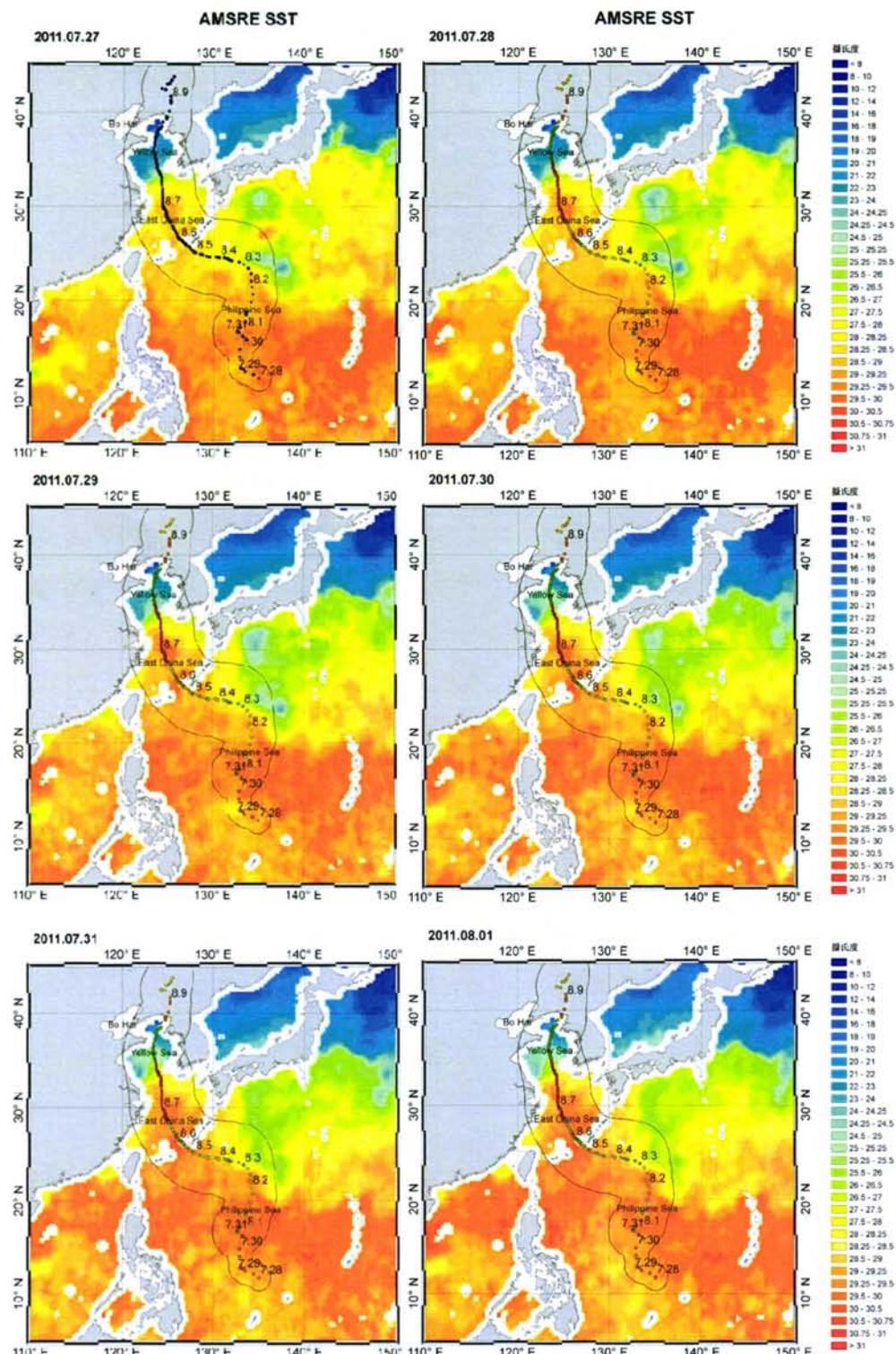
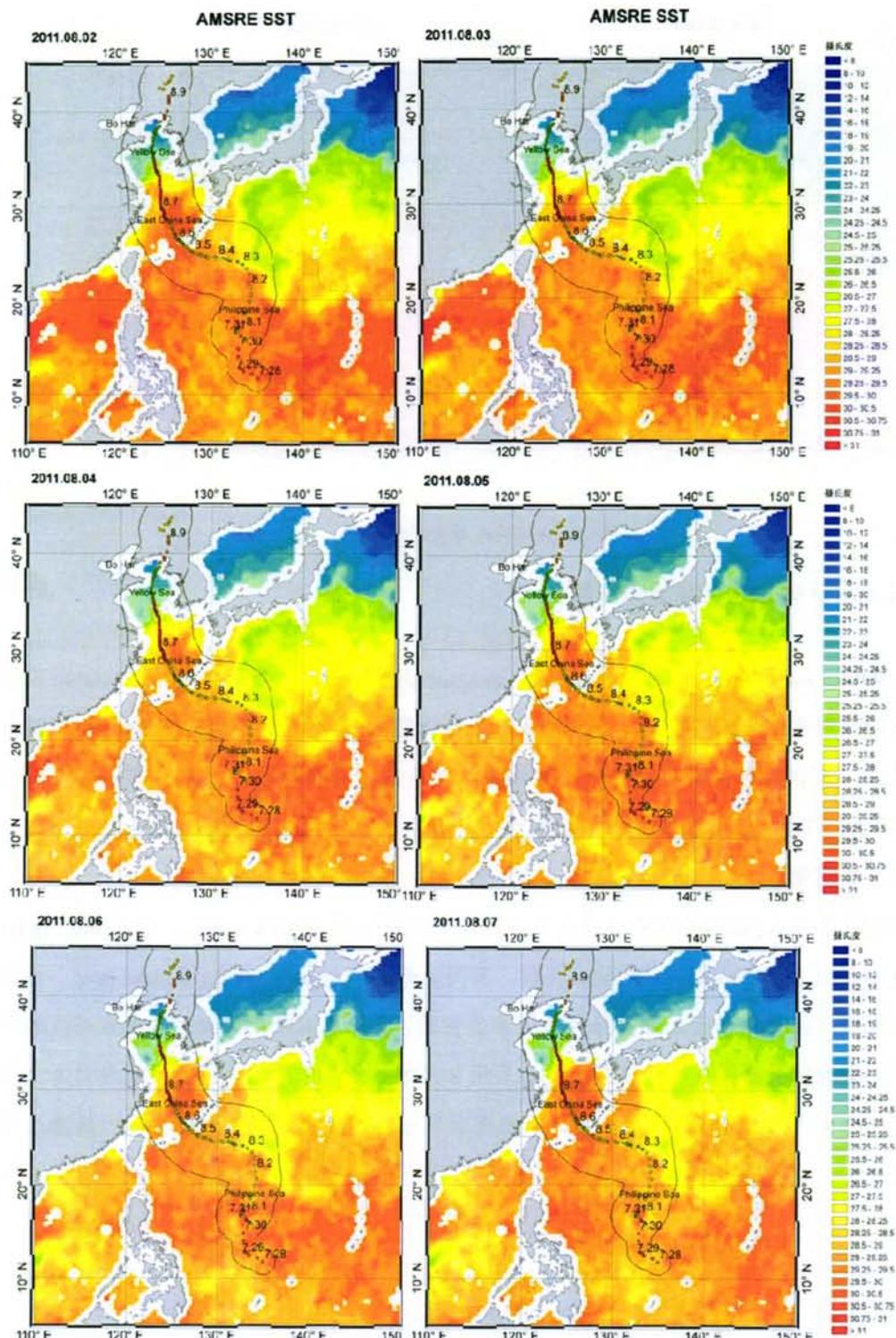


图 5.5 Ascat 风场数据





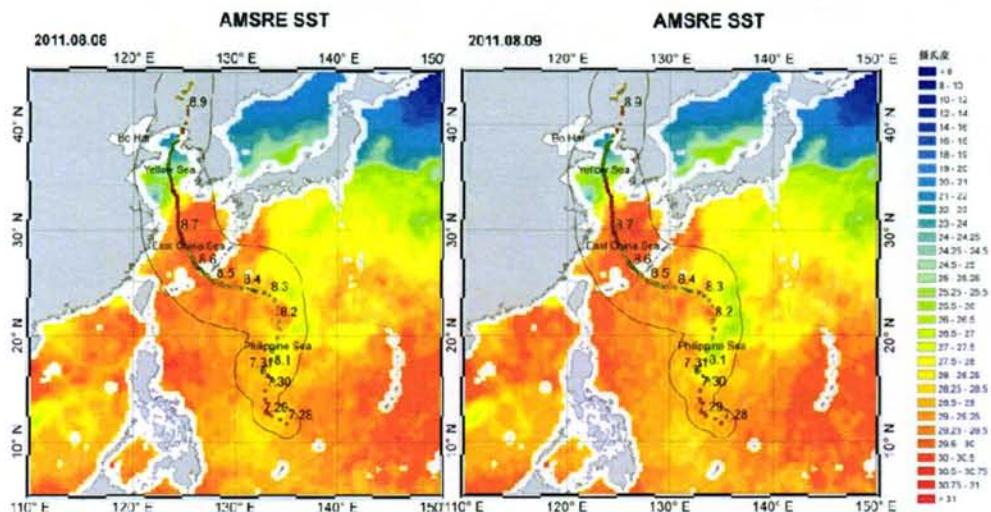
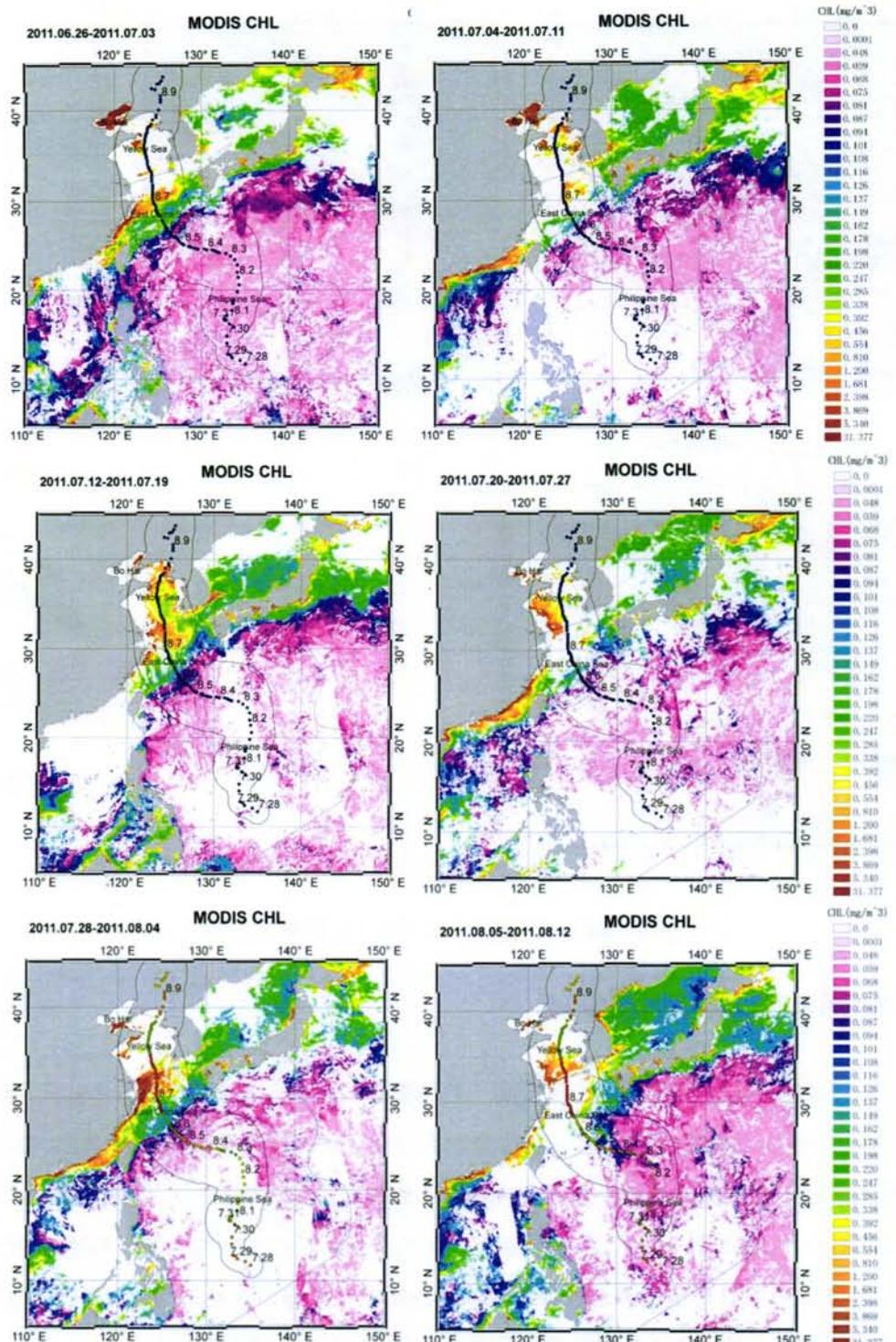


图 5.6 AMSER 海表温度数据

5.1.5.3 Aqua/ MODIS 叶绿素浓度数据

MODIS (moderate-resolution imaging spectroradiometer) 是搭载在 Terra 和 Aqua 卫星上的多中分辨率成像光谱仪。它是被动式成像分光辐射计，共 490 个探测器，36 个离散光谱波段，可以同时提供反映陆地信息和海洋信息的多种数据产品，最大空间分辨率为 250 米，扫描宽度 2330 公里，每颗星的时间分辨率 1 到 2 天，可用于对陆表、海表进行长期的全球观测。

本文所用的 Aqual/MODIS 叶绿素浓度产品可以从美国 NASA GSFC (Goddard Space Flight Center) 的 Ocean Color 网站上下载，其网址是 <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>。由于叶绿素浓度产品会受到云层覆盖等天气因素的影响，台风期间研究海域的叶绿素浓度的产品有大面积的数据缺失，所以在此我们采用 8 天的叶绿素浓度的产品。数据经过本文数据服务系统处理后如图 5.7 所示，可以看出在台风梅花过境后某些海域的海表叶绿素会有所升高。



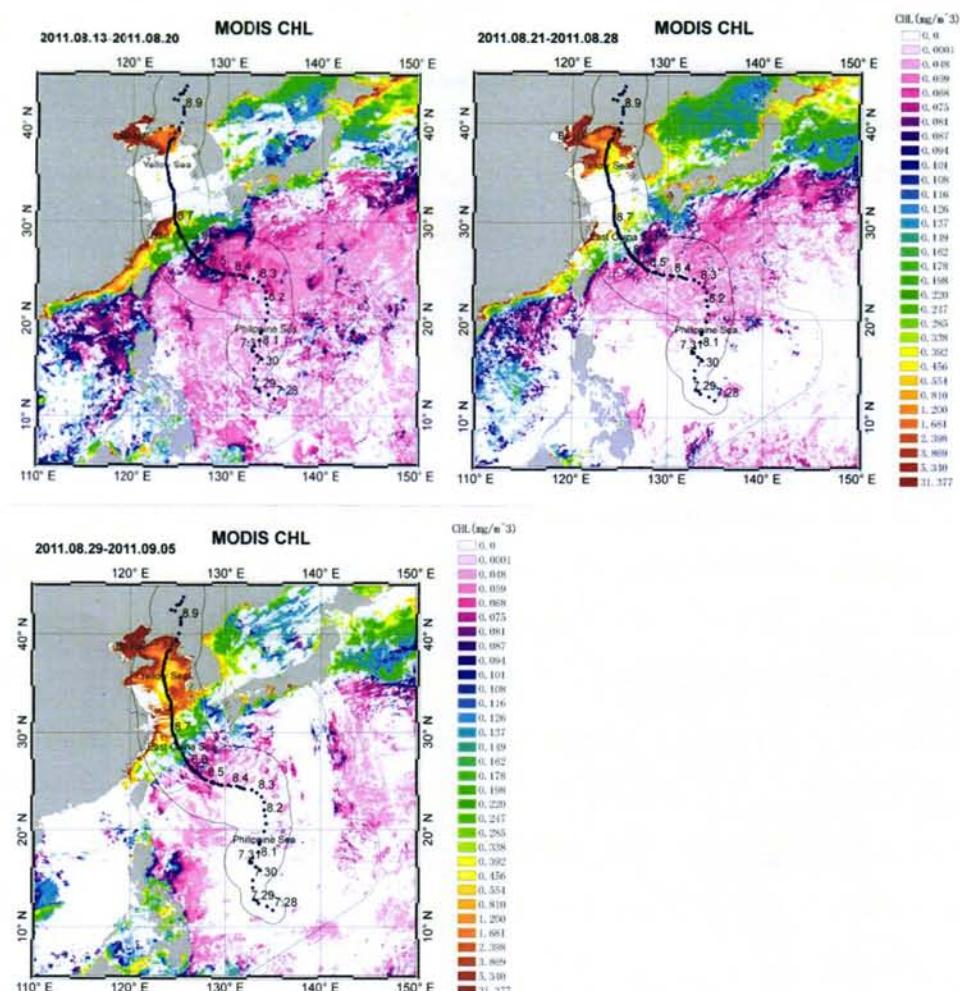


图 5.7 MODIS 叶绿素浓度 (CHL) 数据

5.1.6 台风期间海洋卫星参数的时空变化

台风会对过境海域物理和生物过程造成一定的影响 (Chen, 2012)。我们将台风过境的海域按菲律宾海、东海和黄海分为三个部分，在没有台风的情况下，统计 AMSER 在该海域的最大风速，在台风过境时，采用台风数据中的最大风速，如图 5.8 展示了在 2011 年 7 月 1 日到 2011 年 8 月 30 日，这三个海区的台风 7 级风圈范围以内的最大风速的变化情况。从图 5.8 中可以看出随着台风的推移，菲律宾海、东海、黄海先后达到最大风速，依次间隔两天左右。菲律宾海与东海最大风速可达到 55 米/秒，黄海最大风速稍低可达到



45 米/秒。从图 5.5 Ascot 风场数据（2011.07.28-2011.08.08）也可以看出台风期间，随着台风的推移，各个研究海域的风力大小及方向在空间和时间上的变化情况，还可以很清楚、形象地看出台风的影响范围和区域。

表 5.2 台风在不同海区的叶绿素浓度变化的统计结果（单位： mg/m^3 ）

	Philippine Sea	East China Sea	Yellow Sea
min	0.04530	0.23075	0.77062
max	0.05840	0.91915	2.90406
mean	0.04995	0.52709	1.75906
max-min	0.01310	0.68840	2.13344
max-mean	0.00837	0.38202	1.16287

从图 5.5AMSER 海表温度数据可以看出，台风过境时由于大风和降雨会使过境海域的海表温度有一个降温的过程。我们把沿台风路径两边 50km 范围的区域按照台风过境的日期划分为 A-M 十三个小的区域，统计这些区域上从 2011 年 7 月 1 日至 2011 年 8 月 30 日的温度变化，如图 5.9 所示，可以看出在大部分海区海表降温的最大幅度大约出现在台风过后一周以后。降温最大的区域 F 到 I 位于东海和菲律宾海交接处，台风过境的时间分别是 2011 年 8 月 2 号到 2011 年 8 月 6 号，降温幅度近 4°C ，如表 5.3 所示。另外，从表 5.3 中看到在黄海海域降温幅度最大，最大达到 9°C 以上，但是这个结果并不一定可信，因为在近岸地区，微波的温度数据具有较大的误差。

台风还会影响过境海域的叶绿素浓度的变化，图 5.6 是 MODIS 叶绿素浓度（CHL）数据，从图中我们可以看出在台风过后的一周以后，在某些海域，尤其是在沿台风路径右侧的菲律宾海与东海交接处叶绿素浓度有明显的升高。从图 5.10 台风梅花过境海域每日平均叶绿素浓度（2011 年 7 月 1 日至 2011 年 8 月 30 日）的变化来看，东海、黄海因为靠近近岸，叶绿素浓度总体上是偏高的。但是在台风过后，该海域的叶绿素浓度仍有一个升高的过程。黄海的 8 天平均叶绿素浓度的平均值在 2011 年 8 月 13 日达到最高值，大约是 $2.9\text{mg}/\text{m}^3$ ，比在此海域 2011 年 7、8 两月内最小值 $0.77\text{mg}/\text{m}^3$ 、平均值 $1.76\text{mg}/\text{m}^3$ 分别高了 $2.13\text{mg}/\text{m}^3$ 、 $1.16\text{mg}/\text{m}^3$ 。东海的 8 天平均叶绿素浓度的平均值在 2011 年 8 月 5 日达到最高值，大约是 $0.058\text{mg}/\text{m}^3$ ，比在此海域 2011 年 7、8 两月内最小值 $0.045\text{mg}/\text{m}^3$ 、平均值 $0.049\text{mg}/\text{m}^3$ 分别高了 $0.013\text{mg}/\text{m}^3$ 、 $0.008\text{mg}/\text{m}^3$ 。各个海区尤其是东海由于数据缺失严重，统计的结果可能有所偏差。我们将 2011.06.26-2011.07.03 和 2011.08.13-2011.08.20 两组数据进行对比，前者是台风前的数据，后者是大概台风过后一周时间的数据。在台风前

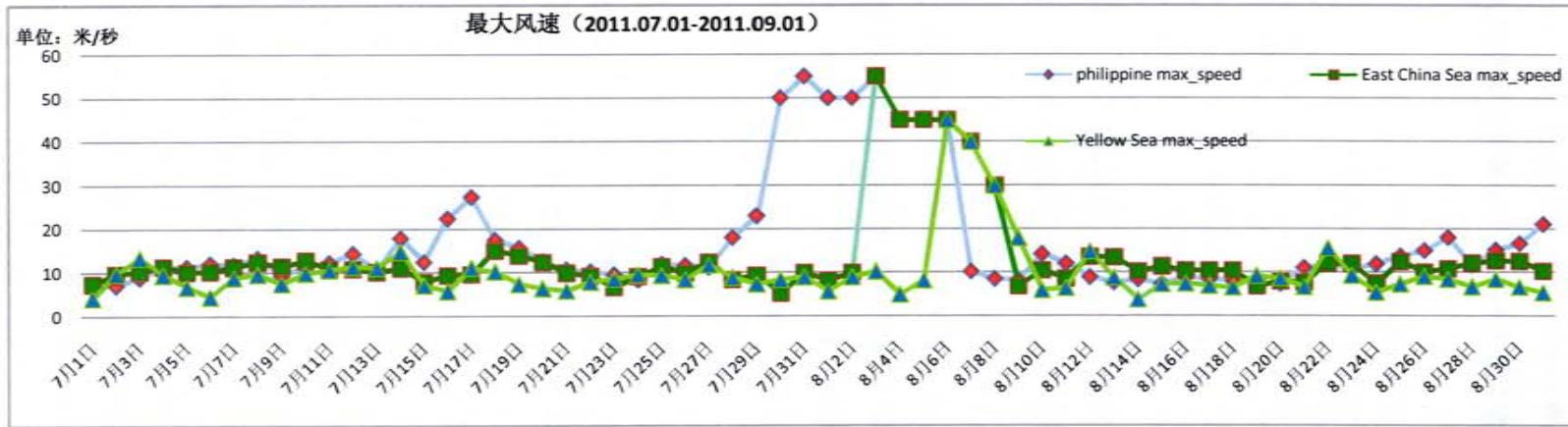


图 5.8 台风梅花过境海域每日最大风速

表 5.3 台风在不同海区的最大风速的统计结果

	Philippine Sea (unit: m/s)	East China Sea (unit: m/s)	Yellow Sea (unit: m/s)
Mean (7月 27 日-8月 9 日)	17.74	14.39	10.89
max	55.00	55.00	45.00
min (7月 27 日-8月 9 日)	7.15	5.31	3.91

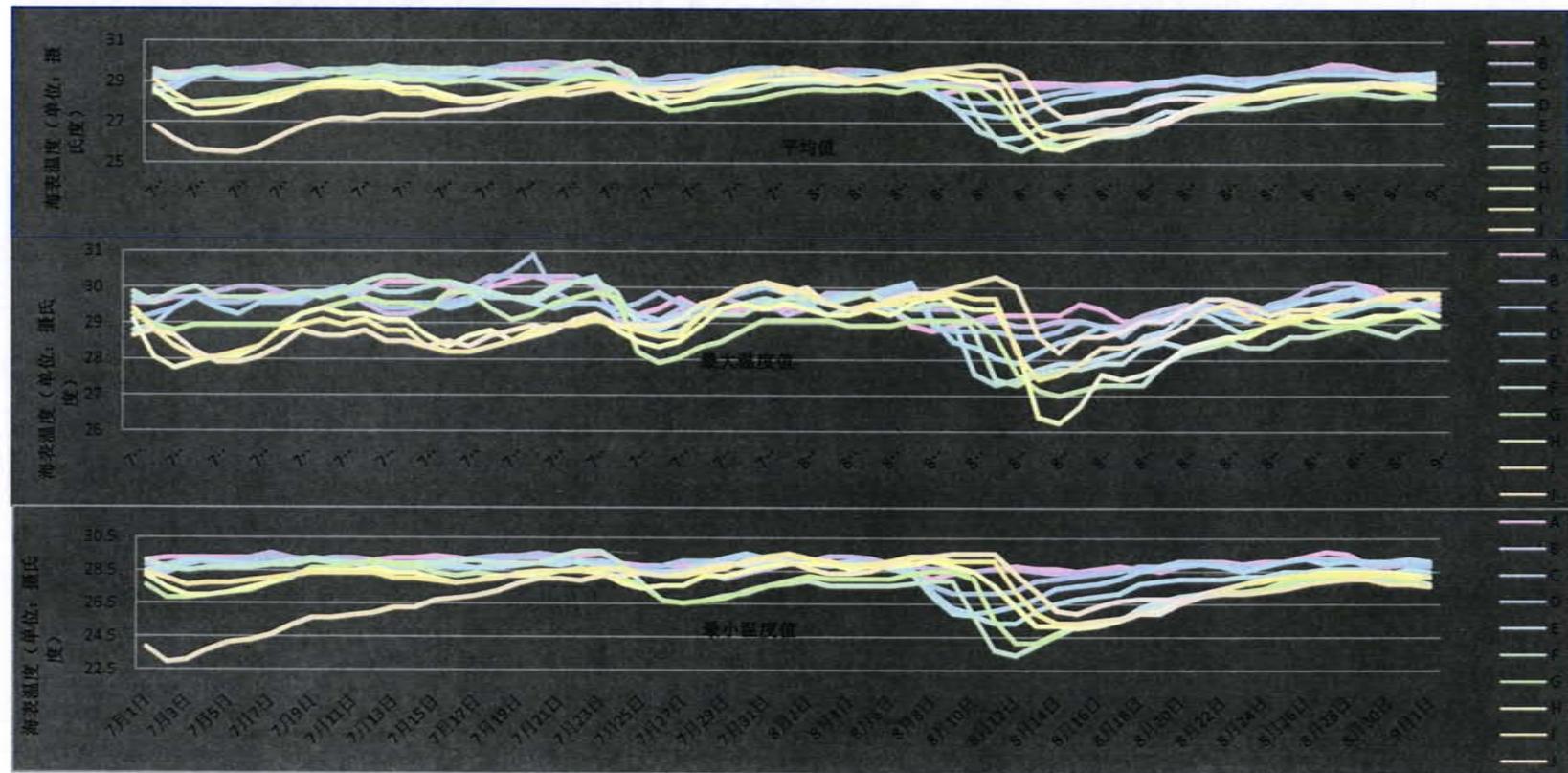


图 5.9 台风梅花过境海域每日温度

表 5.4 台风在不同海区的温度变化的统计结果 (单位: °C)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
max	29.90	29.94	29.81	29.69	29.64	29.95	29.31	29.32	29.70	29.82	28.33	25.43
min	28.42	28.71	27.99	27.30	26.22	25.63	25.89	25.67	26.35	25.51	19.33	17.12
mean	29.30	29.25	29.16	29.02	28.79	28.55	28.25	28.30	28.43	28.19	24.77	21.66
max-min	1.48	1.23	1.82	2.39	3.42	4.32	3.41	3.66	3.35	4.32	9.01	8.30
max-mean	0.60	0.69	0.64	0.65	0.86	1.43	1.06	1.02	1.28	1.57	3.41	3.68

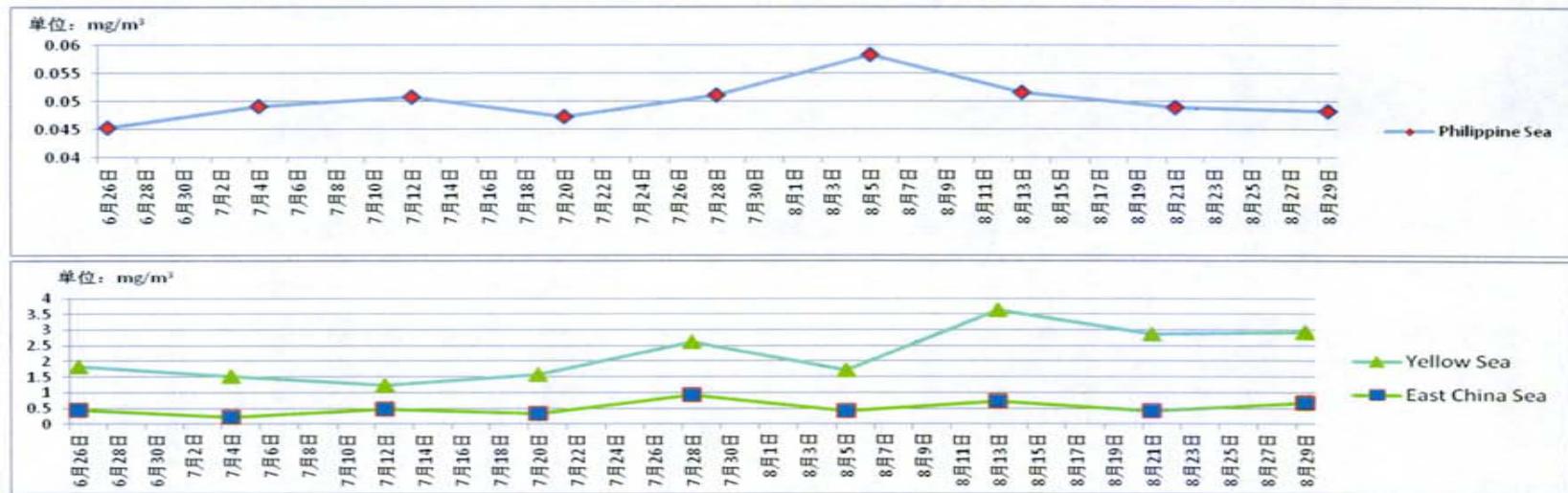


图 5.10 台风梅花过境海域每日平均叶绿素浓度



菲律宾海、东海、黄海的平均叶绿素浓度分别是 0.045 mg/m^3 、 0.43 mg/m^3 、 1.4 mg/m^3 ，在台风过境后一周这三个海区的平均叶绿素浓度为 0.052 mg/m^3 、 0.72 mg/m^3 、 2.9 mg/m^3 ，都有大幅度的升高。

从以上的分析可以看出，台风不仅会给过境的区域带来大风天气，而且会引起降温及叶绿素浓度的升高。

5.2 全球大河冲淡水面积的提取及其在碳通量计算中的应用

5.2.1 河流冲淡水

根据 GRDC2009 年的报告，全球每年从河流流入大海的淡水总量约为 36109 km^3 (Koblenz, 2009)，而世界上流量排名前十的河流每年输入到海洋的淡水及颗粒物占海洋总的淡水及颗粒物总收入的 40% (Dagga et al., 2004; Chen et al., 2008)。世界上大的河流（如，亚马逊河，长江等）拥有巨量的径流，携带着大量陆源物质注入海洋，与河口附近的海水混合形成冲淡水。冲淡水会在河流入海口区域形成离岸的、低盐的、富含营养物质的以及富含高悬浮物和溶解有机物的，浮在底层海水上面的一层特殊水团，在河口外形成不同于其他海水的羽状体 (Higgins et al., 2006; Kouame et al., 2009)。河流冲淡水在发展变化过程中会影响冲淡水区域海域海水的化学、生物和物理特性 (Smith and Demaster, 1996; Shipe et al., 2006)，而且可能会扩散到比较远的海域。

大河冲淡水将陆源物质带到了海洋，因此研究河流冲淡水对研究近海的物质输运、沉降、营养盐及碳循环的生物地球化学活动等相关方面有着重要的作用。此外，河流冲淡水可能使其附近海域的海水富营养化，进一步导致该海域缺氧，甚至会导致海岸带区域出现海洋死亡区。综合研究全球海洋过程，需要确定河流冲淡水的区域，而对世界上主要大河冲淡水面积的统计结果可以为海岸带地区海域的各类物质通量（如 CO_2 通量）的计算提供基础数据。在以往的研究中，河流冲淡水区域由于强烈的生物过程作用而成为大气 CO_2 的强汇，但是在这些海域 CO_2 通量随着季节有着显著的变化 (Cai, 2003; Tan et al., 2004; Green, 2006; Cooley et al., 2007)。由于河流冲淡水海域是河-海-陆交互影响的区域，碳循环过程复杂，在如此高动态的环境中对碳的收支进行估计具有很大的不确定性。



(Ducklow and McCallister, 2004; Borges et al., 2005; Cai et al., 2006), 因此对河流冲淡水区域面积的提取及其面积的估算对于准确估算此区域 CO₂ 通量和对全球海洋碳的收支的估算都有着重要的意义。然而到目前为止,除了在少数的研究中给出了几条河流的冲淡水的面积以外,世界上大多数河流的冲淡水面积仍然是个未知数。因此,本实例利用本文开发的海洋卫星数据服务系统-OSDSS 对全球大河的冲淡水区域进行提取和面积统计,并在此基础上研究全球大河冲淡水海域的 CO₂ 通量。



图 5.11 海洋卫星数据分析服务应用界面

5.2.2 河流冲淡水区域提取方法的研究进展

由于河流冲淡水的高动态性和空间区域特点,单凭某单一航次的观测很难给出河流冲淡水的范围。周峰等(2009)利用 ROMS(Region Ocean Modelling System) 数值模式分析了径流量、风场和黑潮对长江冲淡水扩散的影响,同时给出了长江冲淡水区域盐度的分布,但是研究中并没有明确给出长江冲淡水的范围。

在已有的文献中有一些方法来研究大河冲淡水随季节在空间上的变化特征,也给出了在某一时期的冲淡水的范围甚至是面积值。这些研究方法大多是利用河流冲淡水本身在水色、浊度、水温和盐度异于周围水体的特点来识别的,也可以



利用海洋卫星资料来对河流冲淡水区域进行识别 (Klemas, 2012)。在某些大河的冲淡水区域，海表盐度 (SSS) 与溶解有机质以及碎屑的吸收系数之间有很好的关系，一些学者利用这两者之间的关系来确定某些河流的冲淡水区域，有些也利用卫星资料对河流冲淡水的时空变化做了一些分析 (Binding and Bowers, 2003; D'Sa and Miller, 2003; Hu et al., 2004; Vecchio and Subramaniam, 2004; Chen et al., 2007)。另一些学者利用卫星的叶绿素浓度产品和漫衰减系数产品来确定河流冲淡水的区域。Piola 等人 (2008) 利用 SeaWiFS 卫星的水色产品-海表叶绿素浓度与盐度的关系并结合其他数据分析了拉普拉塔河冲淡水的时空分布变化。Dzwonkowski and Yan (2005) 利用多源海洋卫星 SeaWiFS 和 AQUA/MODIS 的水色数据叶绿素浓度对流入切萨皮克湾 (Chesapeake Bay) 的河流的外冲淡水区域进行了跟踪监测。Jo 等 (2005)、Cooley 等 (2007) 与 Moller 等 (2010) 利用海洋水色数据来研究了世界上径流量最大的亚马逊河冲淡水的时空变化。Thomas and Weatherbee (2006) 利用 SeaWiFS 的多光谱数据，对其 5 个波段的离水辐亮度进行监督分类，研究了哥伦比亚河冲淡水在 1998 年到 2003 年 6 年中的时空变化分布，还进一步分析了与河流径流量和风场的关系。Lihan 等人 (2008) 也是利用 SeaWiFS 的多光谱数据，通过监督最大似然分类的方法来研究 Tokachi 河冲淡水在 1998-2002 年间的时空变化。此外，Walker (1996) 利用 1989 年到 1993 年 NOAA 无云覆盖的 AVHRR(Advanced Very High Resolution Radiometer) 影像数据来研究密西西比河冲淡水的变化规律，并探讨了密西西比河冲淡水的成因，预测了其变化趋势。

然而，在不同的地区上不同河流及其冲淡水具有不同的水色、生物地球化学特性以及其他特性，卫星的遥感反演结果差异较大，所以这些利用卫星遥感来研究河流冲淡水的方法，往往只是适用于特定的河流，很难简单地推广应用到世界上所有的河流冲淡水的研究中。目前，SMOS (Soil Moisture and Ocean Salinity) 卫星和 NOAA 的 Aquarius 卫星能够提供海洋表层盐度数据，然而这些数据的空间分辨率接近 100km，对于河流冲淡水区域的研究而言空间分辨率太低。

5.2.3 数据和方法

本实例采用了 NOAA World Ocean Atlas 2009-NOAA WOA09 (Antonov et al,



2010) 数据集中由实测的数据经过再处理得到的盐度数据集, 以及中国东海、南海海洋图集的盐度等值线专题图中的盐度数据, 结合 GIS 技术得到了全球 19 条主要大河冲淡水面积的月平均数据。因为 GIS 最早就是为了解决地学计算问题而发展起来的一门应用技术, 所以相比于其他方法, 利用 GIS 的空间分析和统计技术来计算冲淡水的面积具有更好的精度和可靠性。

5.2.3.1 基础地理数据

本实例用到的基础地理数据包括全球的河流、陆地、等深线数据、海洋等基础地理数据, 来源于全球公开且免费的 Nature Earth 数据集, 可以直接从其官方网站上免费下载, 其网址是 <http://www.naturalearthdata.com/>。Nature Earth 的官方网站提供 1:10000000、1:50000000 和 1:110000000 三种比例尺的数据, 用户可以根据自己的需要选择下载不同比例尺的数据。我们使用的是 1:10000000 比例尺的数据, 该比例尺的数据以 10m 作为数据集名的开始, 例如 10m_land、10m_ocean、10m_river_lake_centerlines、10m_bathymetry 等, 它们可以直接在 ArcGIS 软件中投影转换成具有 World_Cylindrical_Equal_Are 地理坐标投影的数据。这些基础地理数据对于海区的划分及河流冲淡水区域的确定具有重要的作用。

5.2.3.2 盐度数据

本实例所用的 WOA09 盐度数据来自 NOAA 的 WOAslect 网站, 网址是 <http://www.nodc.noaa.gov/OC5/SELECT/woaselect/woaselect.html>, 如图 5.12 所示。WOAslect 是 NOAA 开发的一个交互式网络工具, 可以提供多种数据的选择。可以选择不同的区域和范围, 不同的网格及不同分辨率(目前有 1° 和 0.25° 两种选择)的数据; 还可以选择数据类型, 目前可供选择的类型包括: 气候态平均(Climatological mean)、统计平均(Statistical mean)、数据分布(Data distribution)、标准偏差(Standard deviation)、平均标准误差(Standard error of the mean) 等数据类型, 我们用的是气候态平均数据; 可以按月、季、年等不同尺度选择数据的时间, 我们选择 1 到 12 月的数据; 可以选择不同的水深数据, 提供有从表层到 5500m 的 33 层数据, 我们选择每个月的表层数据。按照给定条件选好数据后, 点击“show figure”就可以看到数据结果, 在这个结果界面上点击“ArcGIS”就



可以进行下载，它是 ArcGIS 的数据格式 shp 文件。这些盐度数据在 ArcGIS 中首先经过转换变为栅格数据，然后经过投影变换成为具有 World_Cylindrical_Equal_Are 地理坐标投影的栅格数据，其坐标参考与 Nature Earth 的基础地理数据一致。全球海洋表面盐度的气候态月平均分布图如图 5.13 所示。

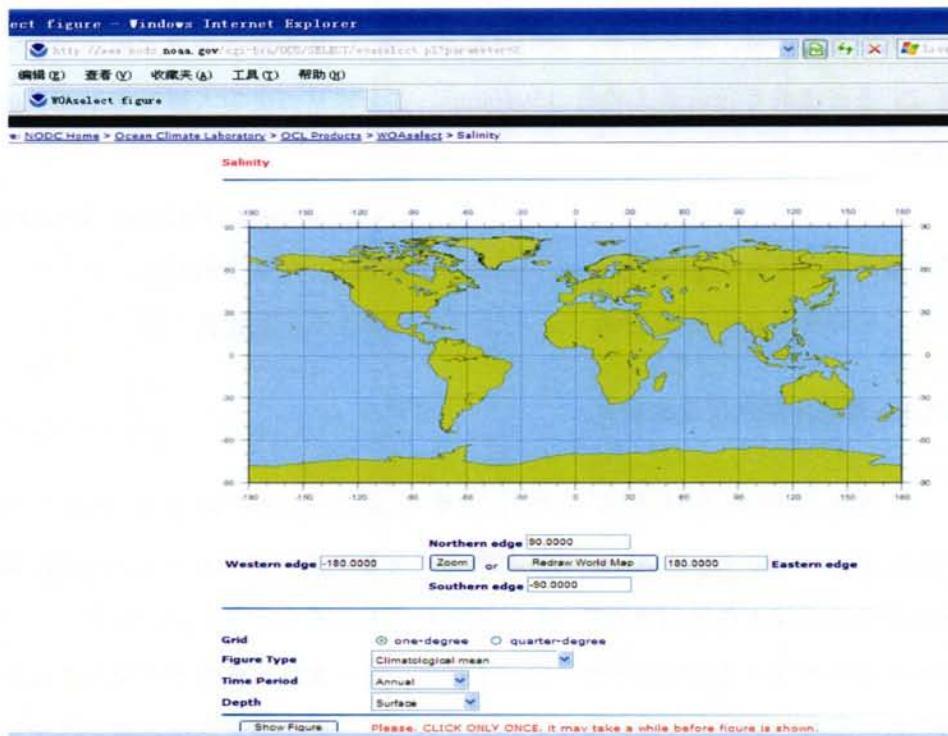


图 5.12 WOAselct 网站界面

为了弥补中国海区盐度数据的不足，在此收集了中国东海和南海海洋图集中的海洋水文分册中的盐度等值线专题图（陈达熙等，1992；Hon et al, 2006）作为确定长江、珠江冲淡水海域的数据来源。这些海洋图集数据是公开发行的纸质版资料，我们首先利用扫描仪将这些专题图扫描成数字栅格影像，然后利用 ArcGIS 软件进行后续处理，最终得到盐度数据。其步骤是：首先对栅格影像进行地理投影的变化，再根据格网坐标进行地理校正，然后利用矢量化工具对栅格影像进行矢量化。最终结果如图 5.14 所示。



5.2.3.3 河流数据

表 5.1 是全球前 25 条大河径流量的排名情况，其中的径流量数据来源于 McKee (2003) 的文献。全球径流量排名前 25 的河流每年输入海洋的淡水通量为每年 17440km^3 ，占全球河流输入海洋淡水总量的 48.3%。因为数据在其中 6 条河流冲淡水区域（湄公河、马格达莱纳河、普拉里河、印度河、赞比西河和多瑙河）的覆盖不够，本实例中，我们只能给出剩余 19 条河流冲淡水的面积值。这 19 条河流的年径流量大约是 15910km^3 ，占全球从河流输入海洋淡水总量的 44.06%。

而图 5.4 中河流气候态的月平均的数据来自 Global River Discharge Database 的网站，其网址为 <http://www.sage.wisc.edu/riverdata/>。从这个网站上，用户可以根据自己的需要查询全球 3500 个水文观测站的河流径流量数据。

5.2.3.4 河流冲淡水区域的确定

将搜集到的盐度数据和基础地理数据转换到统一的地理坐标系统 -World_Cylindrical_Equal_Area，然后利用海洋卫星数据服务的空间分析功能，以不同海域的冲淡水盐度阈值提取 19 条河流冲淡水区域并计算它们的面积。气候态月平均的冲淡水区域的面积值如表 5.3 所示，由于某些河流处于干季时冲淡水的区域非常小，数据的分辨率和覆盖率都比较低，所以会造成这些区域面积值的缺失，在表 5.3 中这些缺失的值标记为“Null”。

确定冲淡水区域的重要内容是盐度阈值的确定，我们根据不同海域盐度背景来确定河流冲淡水的盐度阈值。表 5.2 是全球 5 大洋表层盐度数据月平均值，从表中我们可以看出太平洋、大西洋、印度洋、北冰洋的平均盐度值分别是 34.51、34.98、34.77 和 30.00。大西洋表层的盐度值最高，其次是印度洋和太平洋，北冰洋表层盐度值全年较低，其原因有：(1)很多大河的注入带来大量的淡水；(2)北冰洋气温较低，降雪多而蒸发少，使得北冰洋的淡水增加；(3)季节性融冰的影响 (Lique et al, 2011)。在此背景数据下，我们设定输入太平洋、大西洋、印度洋和北冰洋河流冲淡水盐度阈值分别为 30、31、31、26，比每个大洋的盐度的平均值低大约 4 个单位。

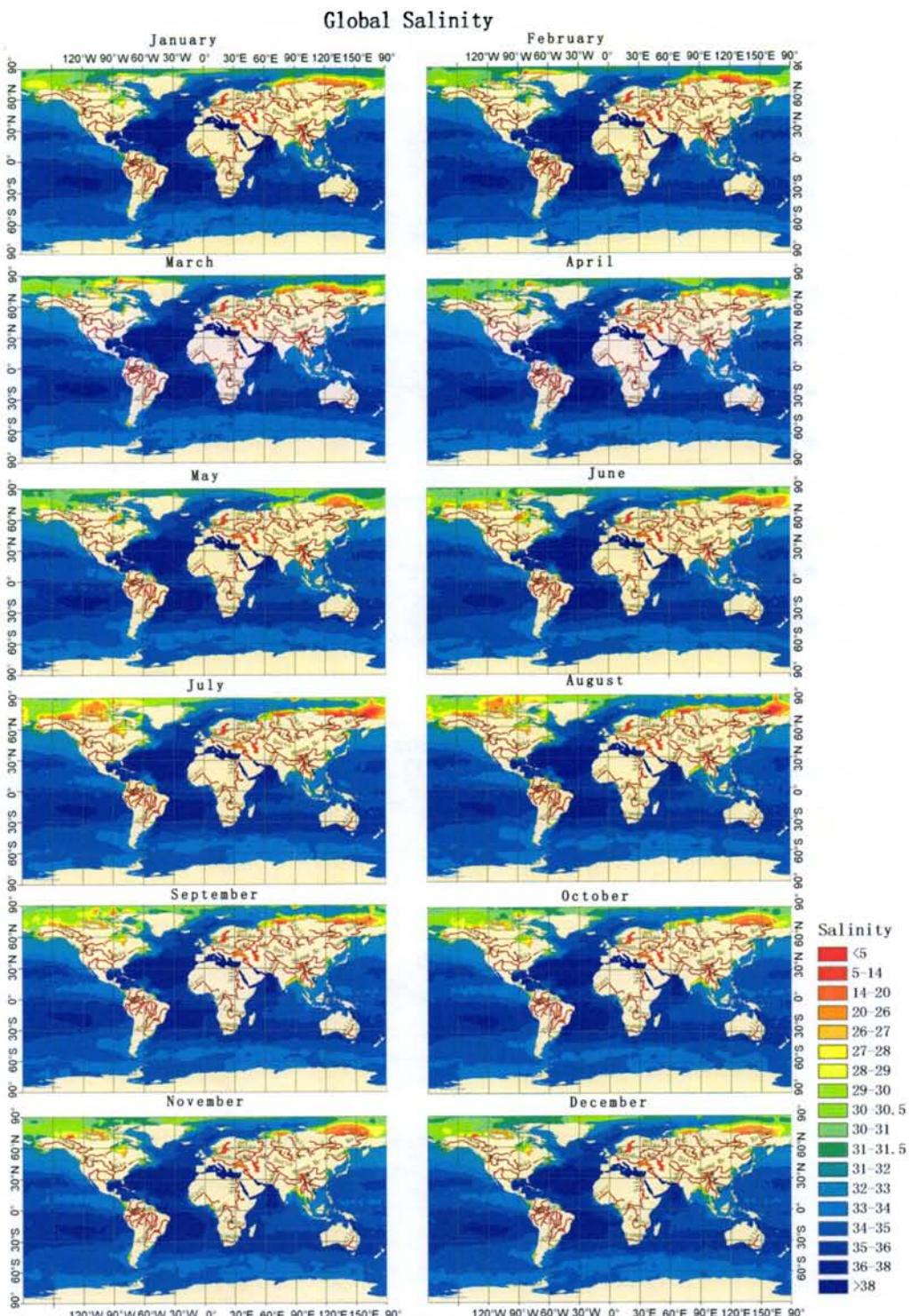


图 5.13 来自 WOA09 盐度数据集的全球月平均海表盐度分布图

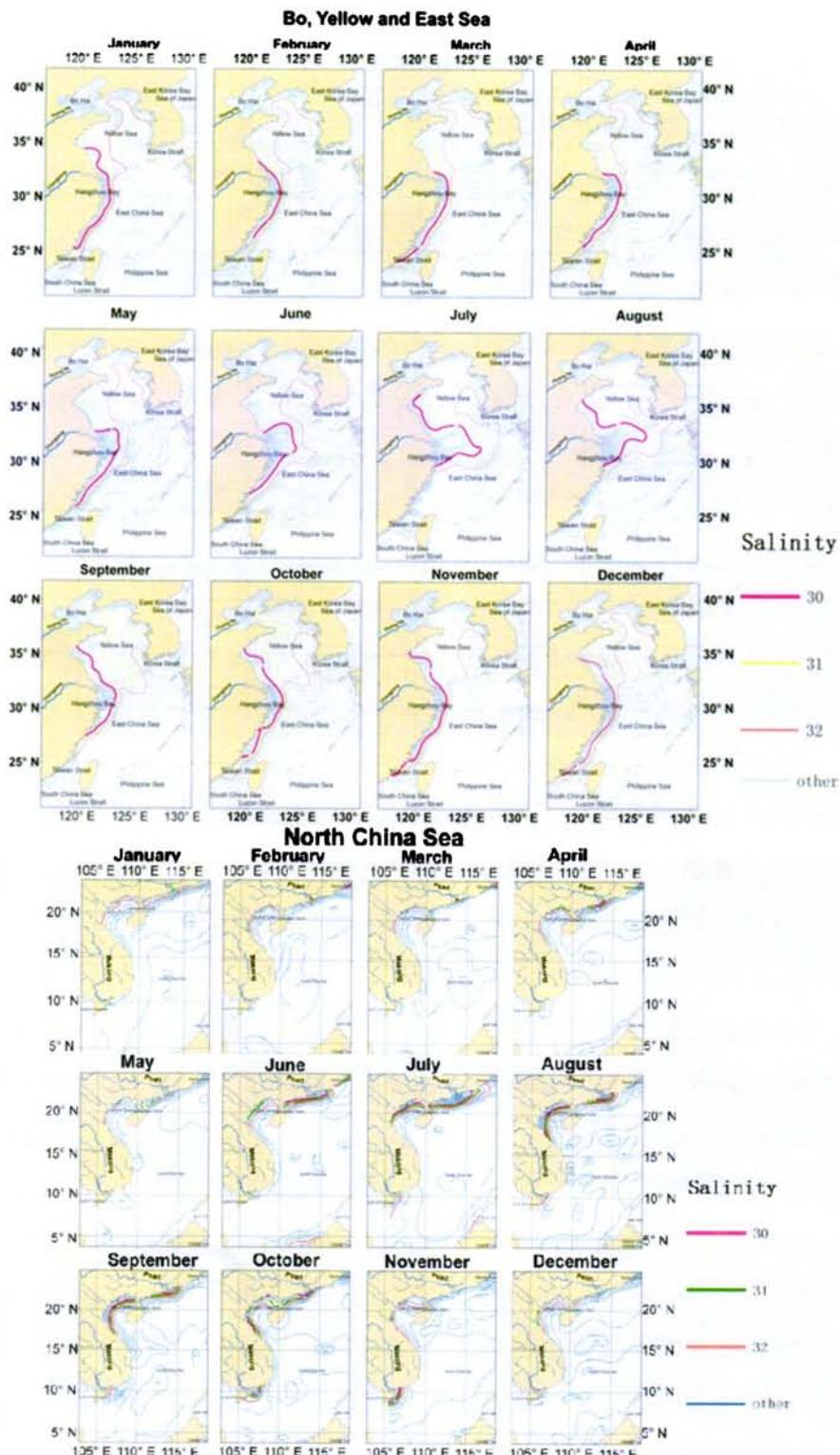


图 5.14 中国东海、南海盐度数据



表 5.5 全球主要大河径流量排名

流入的大洋	河流	河流流量 ($10^9 \text{m}^3 \text{y}^{-1}$)	排名	流量统计 ($10^9 \text{m}^3 \text{y}^{-1}$)
大西洋	亚马逊	6300	1	10630
	刚果	1250	2	
	奥里诺科河	1200	3	
	密西西比	530	7	
	巴拉那河	470	10	
	圣劳伦斯河	450	11	
	马格达莱纳河	240	20	
	尼日尔河	190	24	
太平洋	长江	900	5	2590
	湄公河	470	9	
	阿穆尔	325	14	
	珠江	300	16	
	哥伦比亚河	250	18	
	育空河	195	23	
	普拉里河	150	25	
印度洋	恒河和布拉马普特拉河	970	4	2160
	伊洛瓦底江	430	12	
	萨尔温江	300	17	
	印度河	240	19	
	赞比西河	220	21	
北冰洋	叶尼塞河	630	6	1850
	勒拿河	510	8	
	鄂毕河	400	13	
	马更些河	310	15	
黑海	多瑙河	210	22	210
总流量 ($10^9 \text{m}^3 \text{y}^{-1}$)		15910*		17440

5.2.4 结果与讨论

5.2.4.1 与前人研究的比较

首先，利用 ArcGIS 软件与 Nature Earth 基础地理信息数据，计算得到全球海洋的表面积为 $365.051 \times 10^6 \text{km}^2$ ，与冯士祚等人（2004）的计算结果 $-361.059 \times$

10^6km^2 相比，略偏大。计算的全球陆架海的表面积为 $26.15 \times 10^6\text{km}^2$ (如表 5-8 所示)，比 Laruelle 等 (2010) 利用像素值与象元数的乘积得到的结果 $24.7 \times 10^6\text{km}^2$ 略大，但是比 Chen 等 (2009) 偏低。本实例计算结果与以往的文献中的结果略有差异主要是因为所用的数据源及计算面积所用的方法不同，但是从比较的结果来看，我们的结果介于历史研究的最大值与最小值之间，所以利用我们的方法来计算面积是可信的。而且 GIS 最早就是为解决地学计算问题而发展起来的，所以相信利用 GIS 技术来计算面积值相比于其他方法具有更高的准确性。

表 5.6 WOA09 盐度数据得出的 5 个大洋海洋表面盐度平均值
(括号中是各个统计数据集中的最小值与最大值)

月	太平洋	大西洋	印度洋	北冰洋
1	34.52 (20.7-36.52)	35.05 (5-39.23)	34.76 (23.05-41.58)	30.34 (22.98-34.17)
2	34.54 (22.54-36.59)	35.08 (5-39.53)	34.74 (24.9-41.42)	30.25 (7.17-34.47)
3	34.54 (19.17-36.6)	35.08 (5-39.2)	34.74 (27.29-41.73)	30.44 (7.8-34.67)
4	34.54 (22.4-36.55)	35.06 (4.99-41.69)	34.72 (26.27-41.51)	30.86 (17.8-34.44)
5	34.53 (22.63-36.71)	35.01 (4.99-40.2)	34.74 (26.5-40.72)	30.53 (16.83-34.56)
6	34.52 (15.64-36.67)	34.93 (5-41.39)	34.79 (29.22-40.7)	29.65 (13.15-34.76)
7	34.49 (17.27-36.51)	34.84 (5-39.7)	34.82 (25.18-41.08)	28.70 (5.6-34.28)
8	34.47 (17.51-36.54)	34.84 (5-39.81)	34.78 (18.72-41.53)	29.05 (5-33.72)
9	34.48 (20.83-36.62)	34.93 (5-41.11)	34.77 (26.34-42)	29.85 (12.73-33.87)
10	34.48 (18.59-36.61)	34.98 (5-40.98)	34.79 (20.33-41.82)	29.93 (17.53-34.37)
11	34.49 (21.3-36.57)	34.99 (4.99-39.63)	34.81 (19.9-41.46)	30.02 (16.07-35.24)
12	34.50 (18.23-36.53)	35.01 (5-40.47)	34.79 (22.36-41.64)	30.40 (21.83-34.69)
平均	34.51	34.98	34.77	30.00

表 5.7 全球主要大河冲淡水的面积值 (单位: 10^3km^2)

月 河流	主要大河冲淡水的面积												流量排 名
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
亚马逊河 (S*<31)	157.2	194.2	216.1	254.2	301.3	236.1	237	203.2	125.7	88	98.7	123.1	1
刚果河 (S<31)	34.8	44.6.	49.7.	32.4.	15.9.	7.2.	6.6.	6.6	5.5	10.1	19.4	26.3	2
奥里诺科河(S<31)	Null	Null	Null	4	Null	Null	26	53.4	58.7	41.8	32.7	28.1	3
密西西比河 (S<31)	24.2	31.2	42.2	48.4	82.7	98.6	106.2	74.2	21.6	10.4	13.8	18.4	7
巴拉那河 (S<31)	102.6	87.7	86	97	66.3	47.1	68.9	106.6	120	94	84.5	96	10
圣劳伦斯河(S<31)	99.1	75.3	72.5	111.4	157.5	267.9	290.4	322.4	316.5	240.8	173	135.7	11
尼日尔河(S<31)	163.5	82.4	108.3	112.4	55.6	12.2	44.4	40.2	7	51.3	179	176.8	24
长江 (S<30)	70.9	73.3	73.2	69.8	87.6	107.9	134	126.7	102.4	107.4	95.9	94.6	5
阿穆尔河(S<30)	20.2	38.5	Null	Null	57.8	81.1	114.6	61.4	61.5	63.1	42.7	5.3	14
珠江 (S<30)	Null	1.2	1.4	5.5	Null	26	48.6	10.8	10.8	7.4	Null	Null	16
哥伦比亚河(S<30)	5.2	7.7	3.9	7.3	14.7	19.8	10.4	Null	Null	Null	1	18	
育空河(S<30)	15.9	17.6	7.4	Null	17.8	54.5	63.9	68.4	67.9	66.4	46.6	16.1	23
恒河、布拉马普特拉河、伊洛瓦底江和萨尔温江(S<31) **	358.8	125.2	59.6	77.3	76.6	78.6	167.3	590.5	753.5	787.7	618.4	541.3	4, 12, 17
叶尼塞河和鄂毕河 (S<26)	208.2	278.8	223.6	37.1	Null	120.1	265.3	324.9	286.8	167.2	144.4	162.1	6, 13
勒拿河和科雷马河 (S<26)	855.1	869.2	840.8	460.8	23	1462.1	1538.4	1271.2	883.8	1033	1095.2	906.8	8,
马更些河 (S<26)	64	58.5	57.9	1.3	Null	234.1	437.9	364.6	96	79.7	127.6	108.2	15
总计	2179.8	1985.3	1842.5	1318.9	956.7	2853.3	3559.4	3625	2917.6	2848.4	2772	2439.8	

* S 代表盐度；** 流入印度洋的这四条河流由于地理位置靠近，其冲淡水常常混在一起，所以在此合并统计



Moller 等人 (2010) 利用海表盐度与 SeaWiFS 的水色产品溶解有机物和碎屑颗粒物的吸收系数 (adg) 之间的关系确定了亚马逊河流冲淡水的范围，并给出了 6 月到 8 月盐度小于 34 的最大的冲淡水区域的面积是 $1506 \times 10^3 \text{ km}^2$ 。利用本文方法与 WOA09 盐度数据计算亚马逊河口外盐度小于 34 的海域的面积，从 6 月到 8 月期间亚马逊河流冲淡水的气候态月平均值分别是 6 月为 $1941.9 \times 10^3 \text{ km}^2$ ，7 月为 $1409.2 \times 10^3 \text{ km}^2$ ，8 月为 $1020.9 \times 10^3 \text{ km}^2$ ，这三个月的平均值为 $1457.4 \times 10^3 \text{ km}^2$ 。与 Moller 等人的结果相近。Gupta and Krishnan (1994) 研究了南亚和东南亚地区的含沙量较高的河流的冲淡水的区域范围，并给出恒河-布拉马普特拉河和伊洛瓦底江-萨尔温江的河流冲淡水的面积分别是 $40.4443 \times 10^3 \text{ km}^2$ 、 $40.645 \times 10^3 \text{ km}^2$ ，两者的总和为 $81.0893 \times 10^3 \text{ km}^2$ 。从表 5.7 可以看出，我们得到的结果是，这四条河冲淡水的总面积最大值出现在 10 月，是 $787.7 \times 10^3 \text{ km}^2$ ，最小值出现在 3 月，是 $59.6 \times 10^3 \text{ km}^2$ 。相对应地这个结果也在我们给出的结果的范围之内。所以利用 NOAA 最新的 WOA09 数据集和本文的方法计算得到的河流冲淡水的面积值为研究全球 19 条大河的冲淡水提供了一个新的数据基础。

表 5.8 全球陆架海的面积及海-气 CO₂ 通量

参考文献	面积 (10^6 km^2)	平均海-气 CO ₂ 通量 ($\text{molC m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$)	总海气 CO ₂ 通量 (PgC yr^{-1})
Tsunogai 等(1999)	27	--	-1.0
Thomas 等(2004)	25.2	---	-0.4
Borges 等(2005)	23.03	-1.62	-0.45
Cai 等(2006)	25.83	-0.71	-0.22
Chen 等(2009)	30.16	-0.90	-0.33
Laruelle 等(2010)	24.724	-0.7 ± 1.2	-0.211 ± 0.364
本文	26.15	~-0.8	~-0.251

注：负值表示是 CO₂ 的汇，而正值表示是 CO₂ 的源

5.2.4.2 河流冲淡水的面积

表 5.7 给出了世界 19 条大河冲淡水的面积的月平均值，经计算，这 19 条河流冲淡水面积的平均值为 $2.44 \times 10^6 \text{ km}^2$ ，占全球总的陆架海面积 ($26.15 \times 10^6 \text{ km}^2$) 的 9.3%。然后对这些面积数据按世界大洋划分进行综合，并在表 5.9 中给出世界除南大洋以外的四个大洋的河流冲淡水的气候态的月平均面积值。再对这些数据按纬度带进行综合与统计，给出不同纬度带 (0° - 30° 、 30° - 60° 、 60° - 90°) 上河



表 5.9 全球 19 条大河冲淡水的面积按大洋统计的结果

月 大洋	各个大洋的河流冲淡水的面积(单位: 10^3km^2)												径流量 ($10^9\text{m}^3\text{y}^{-1}$)	阈值
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
大西洋	581.4	515.3	574.8	659.7	679.3	669.1	779	806.6	654.9	536.5	601.1	604.4	10390	31
太平洋	112.3	138.3	85.8	82.6	177.9	289.3	371.5	267.2	242.5	244.3	185.1	117	1970	30
印度洋	358.8	125.2	59.6	77.3	76.6	78.6	167.3	590.5	753.5	787.7	618.4	541.3	1700	31
北冰洋	1127.3	1206.6	1122.3	499.3	23	1816.3	2241.6	1960.7	1266.6	1279.9	1367.3	1177.1	1850	26
总计	2179.8	1985.3	1842.5	1318.9	956.7	2853.3	3559.4	3625	2917.6	2848.4	2771.9	2439.8	15910	

表 5.10 全球 19 条大河冲淡水面积按纬度带统计的结果

月 纬度带	各个维度带上河流冲淡水的面积(单位: 10^3km^2)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
60°-90° (寒带)	1127.3	1206.6	1122.3	499.3	23	1816.3	2241.6	1960.7	1266.6	1279.9	1367.3	1177.1
30°-60° (温带)	338.2	331.1	285.2	333.9	484.5	676.9	788.3	759.6	689.8	582.1	456.4	367.2
0°-30° (热带)	714.3	447.6	435.1	485.7	449.3	360.1	529.6	904.6	961.1	986.4	948.2	895.5
总计	2179.8	1985.3	1842.5	1318.9	956.7	2853.3	3559.4	3625	2917.6	2848.4	2771.9	2439.8



流冲淡水的面积，如表 5.10 所示。

按大洋分时，19 条河流中共有 7 条河流注入大西洋，它们分别是亚马逊河、刚果河、奥里诺科河、密西西比河、巴拉那河、圣劳伦斯河和尼日尔河，这些流入大西洋的河流的冲淡水面积是除北冰洋以外三个大洋中最大的，最小的是太平洋（统计的 19 条河流中有 5 条河流注入，分别是长江、阿穆尔河、珠江、哥伦比亚河和育空河）。从表 5.5 中可以看出每年注入大西洋的 7 条河流的淡水有 $10390 \times 10^9 \text{ km}^3$ ，占到 19 条河流淡水总量 ($15910 \times 10^9 \text{ km}^3$) 的 65.3%，是统计范围内淡水注入量最大的大洋，相应的河流冲淡水的面积也是除北冰洋之外最大的。从表 5.9 中可以看出在 8 月份，其冲淡水的面积达到最大值，为 $806.6 \times 10^3 \text{ km}^2$ ，占到全球 19 条河流冲淡水总面积的 22.23%，2 月份最小，其值为 $515.3 \times 10^3 \text{ km}^2$ ，占到全球 19 条河流冲淡水总面积的 25.96%。

流入大西洋的河流中，亚马逊河的流量是排名第一，从图 5.17 中可以看出亚马逊河常年都有较大的径流量，相应地，它的冲淡水的面积在全年都比较大。圣劳伦斯河夏季的冲淡水面积比较大，但是它的径流量并不是很大，主要原因是由圣劳伦斯河的冲淡水正好处于世界上最大的海湾之一圣劳伦斯湾，而圣劳伦斯湾半封闭的地理环境阻碍了河流带来的淡水的迅速扩散，在海湾中形成大面积的淡水区域使得其冲淡水的面积比较大。长江是注入太平洋的河流中径流量最大的一条河流，也是太平洋中河流冲淡水面积最大的河流，尤其是在湿季。从图 5.14 中可以看出，夏季（也就是长江流域的湿季）长江冲淡水向东北方向扩散，最远可以扩散到距离河口 450km 外的济州岛海域，冬季沿海岸线向南扩散，长江冲淡水的这些时空特性在以往的研究中也有阐述 (Isobe et al., 2002; Chang et al, 2003; Moon et al., 2009; Moon et al., 2010; Wu et al, 2011)。

将全球 19 条大河的冲淡水面积按三个纬度带进行综合与统计，这三个纬度带分别是热带海域 (0° - 30°)、温带海域 (30° - 60°) 和寒带海域 (60° - 90°)。统计的 19 条大河中有 7 条河流流入热带海域，该海域的河流冲淡水的面积比温带海域河流冲淡水的面积要大。这里需要说明的是在寒带海域，主要是在北冰洋海域，河流冲淡水的面积是比较大的，8 月份其值为 $1960.7 \times 10^3 \text{ km}^2$ ，占到 19 条大河冲淡水面积 ($3625 \times 10^3 \text{ km}^2$) 的 54.09%。但是，输入到北冰洋地区的河流的年径流量为 $1850 \times 10^9 \text{ km}^3$ ，只占到 19 条大河总的径流量 ($15910 \times 10^9 \text{ km}^3$) 的 11.6%，

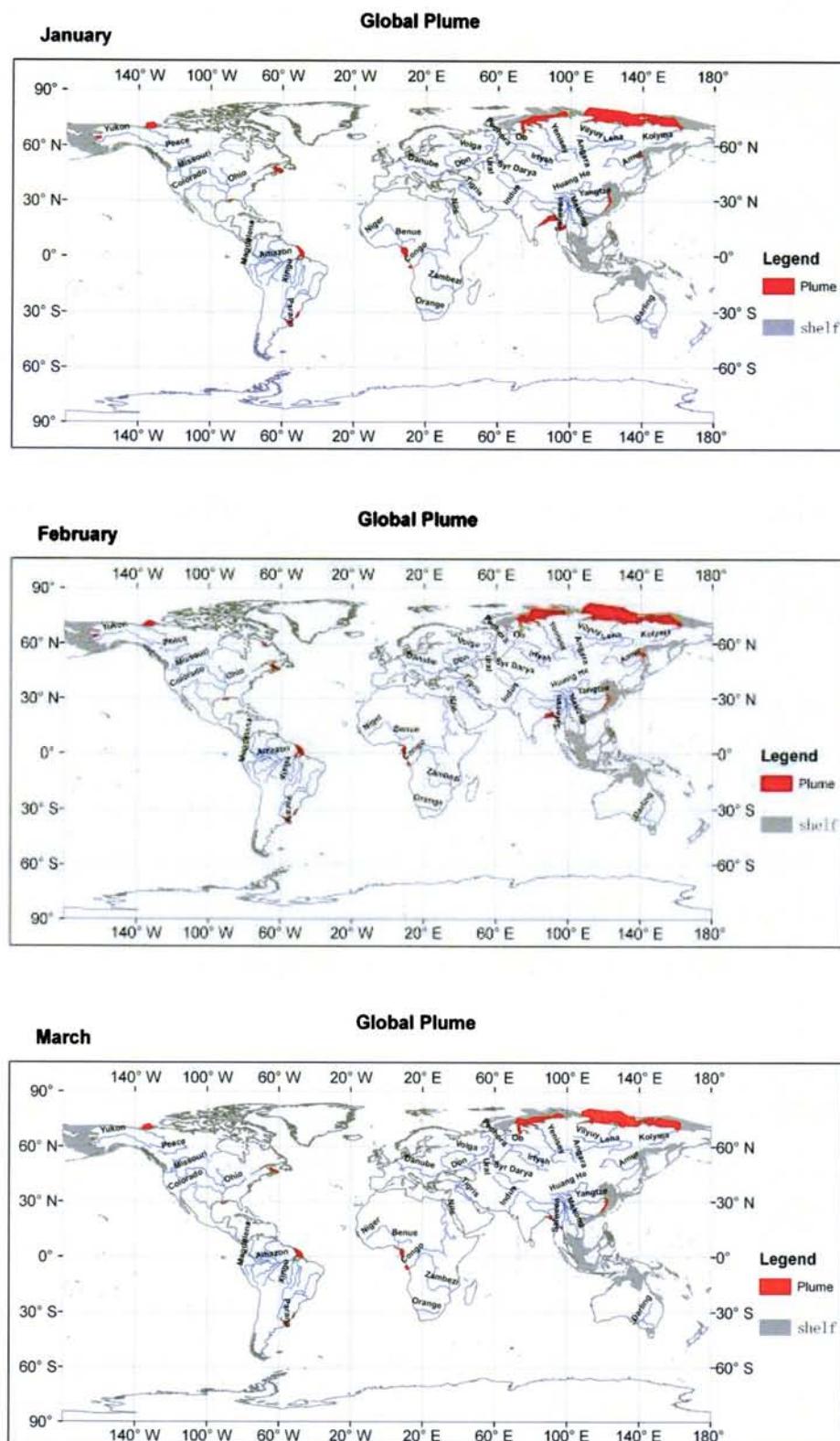


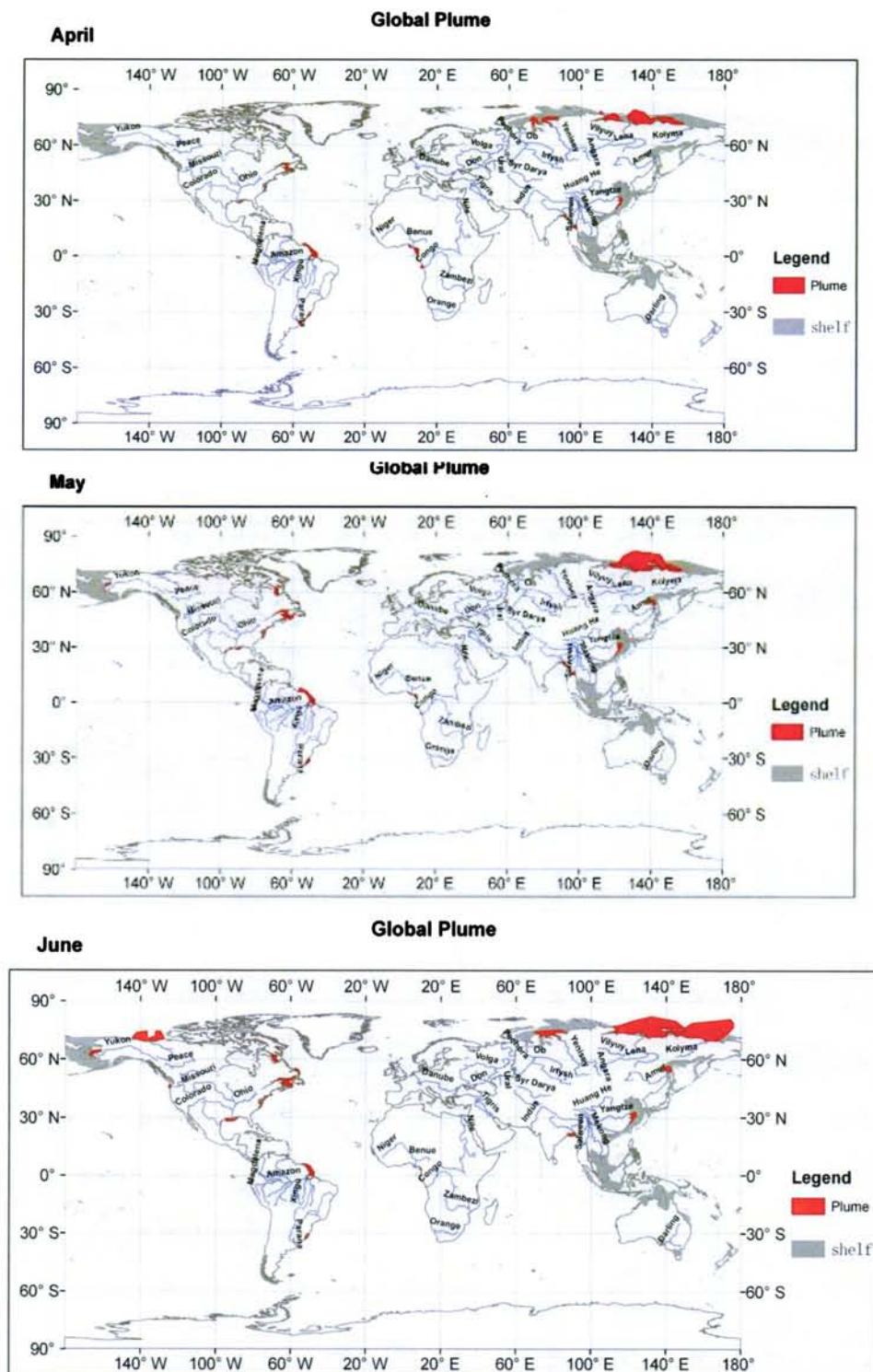
所以该海域的冲淡水的面积可能被高估了。高估的原因主要是北冰洋海域的海表盐度值是比较小的，以 26 作为冲淡水区域的盐度阈值，有可能偏大了，尤其是在夏季融冰现象时节，而寒带的河流主要都流入北冰洋，所以其冲淡水的面积可能被高估了。

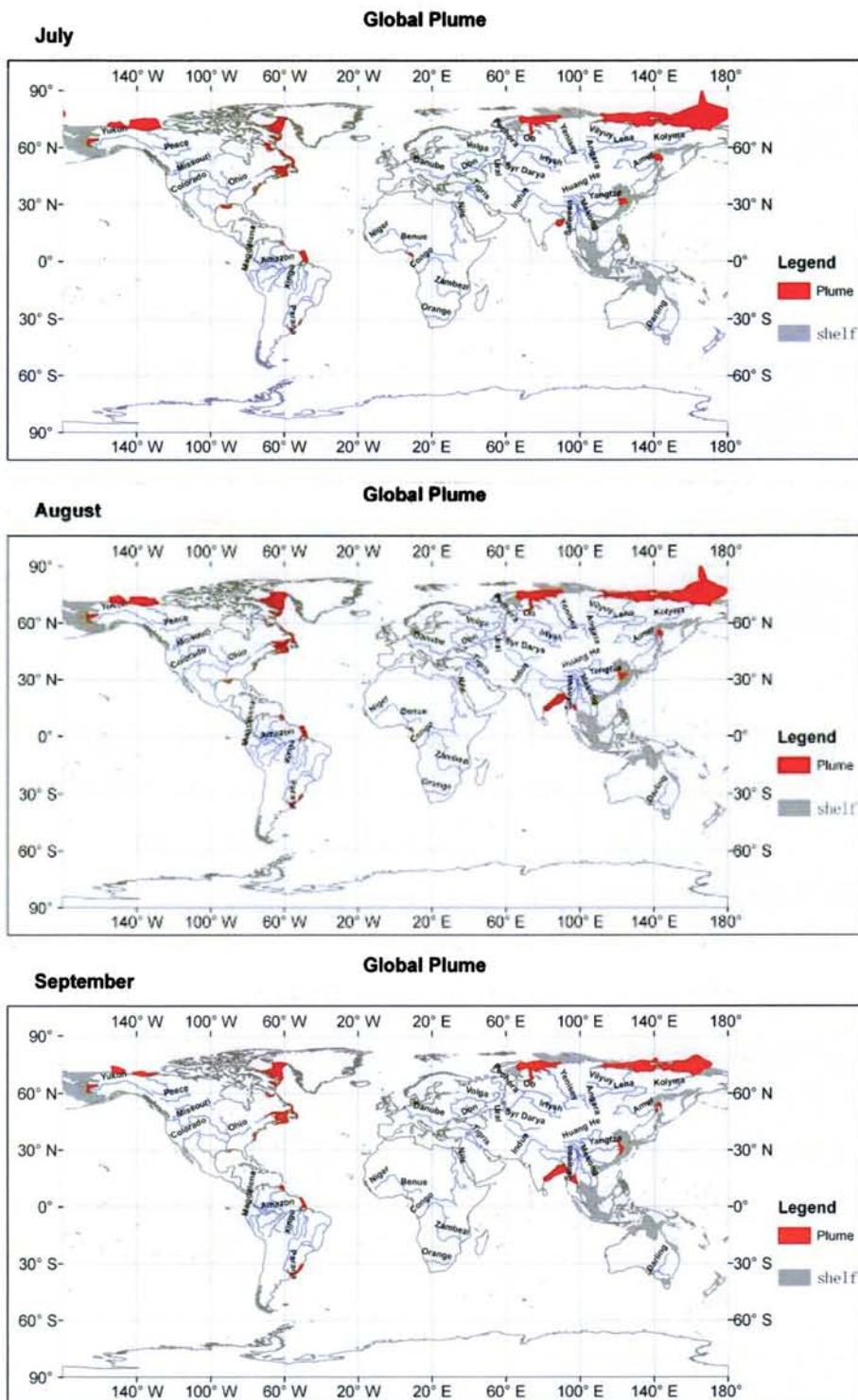
5.2.4.3 河流冲淡水面积的变化

图 5.15 给出了 1~12 月全球 19 条大河冲淡水区域的平面分布图，结合图 5.16 和图 5.17 可以看出，除北冰洋以外，径流量大的河流其冲淡水的面积也大。北半球一般在夏季降雨较多，河流的径流量也较大，相应的河流冲淡水的面积也较大。图 5.18 是河流冲淡水的面积随盐度（盐度范围 27-32，具体的数据值见附件 1）的变化曲线图，可以看到亚马逊河、奥里诺科河、巴拉那河和尼日尔河的冲淡水面积随盐度变化的趋势比其他河流平缓。在高纬度海域尤其是在北冰洋海域，河流冲淡水面积随盐度的变化比低纬度海域的变化快。

河流冲淡水面积的大小首先会受到河流径流量的影响，一般情况下，如果河流的径流量较大则它的冲淡水面积也较大。但是河流冲淡水的形成和发展过程除了受到河流径流量的影响外，还受到其他多种因素的影响，例如沿岸流、风场、潮汐、岸线的地理条件、惯性力等 (Dagg et al, 2004)，动力机制复杂，具有较强的非线性特性，且在不同区域差异较大。Schettini 等人 (1998) 将河流的冲淡水按岸线的地理条件分成两种类型：*riverine plumes* (例如亚马逊河、密西西比河) 和 *estuarine plumes* (例如圣劳伦斯河)。在 *riverine plumes* 类型的河流冲淡水从河流直接扩散到大洋中，盐度与其他物质在河口海域会有很大的梯度变化，*estuarine plumes* 类型的河流冲淡水会停滞在一个相对封闭的海湾中，与海水进行充分的混合后，才会流向陆架海，因此 *estuarine plumes* 类型的河流冲淡水往往拥有较大的面积。此外在某些海域 (如北冰洋)，季节性融冰也是影响河流冲淡水面积的一个重要因素。







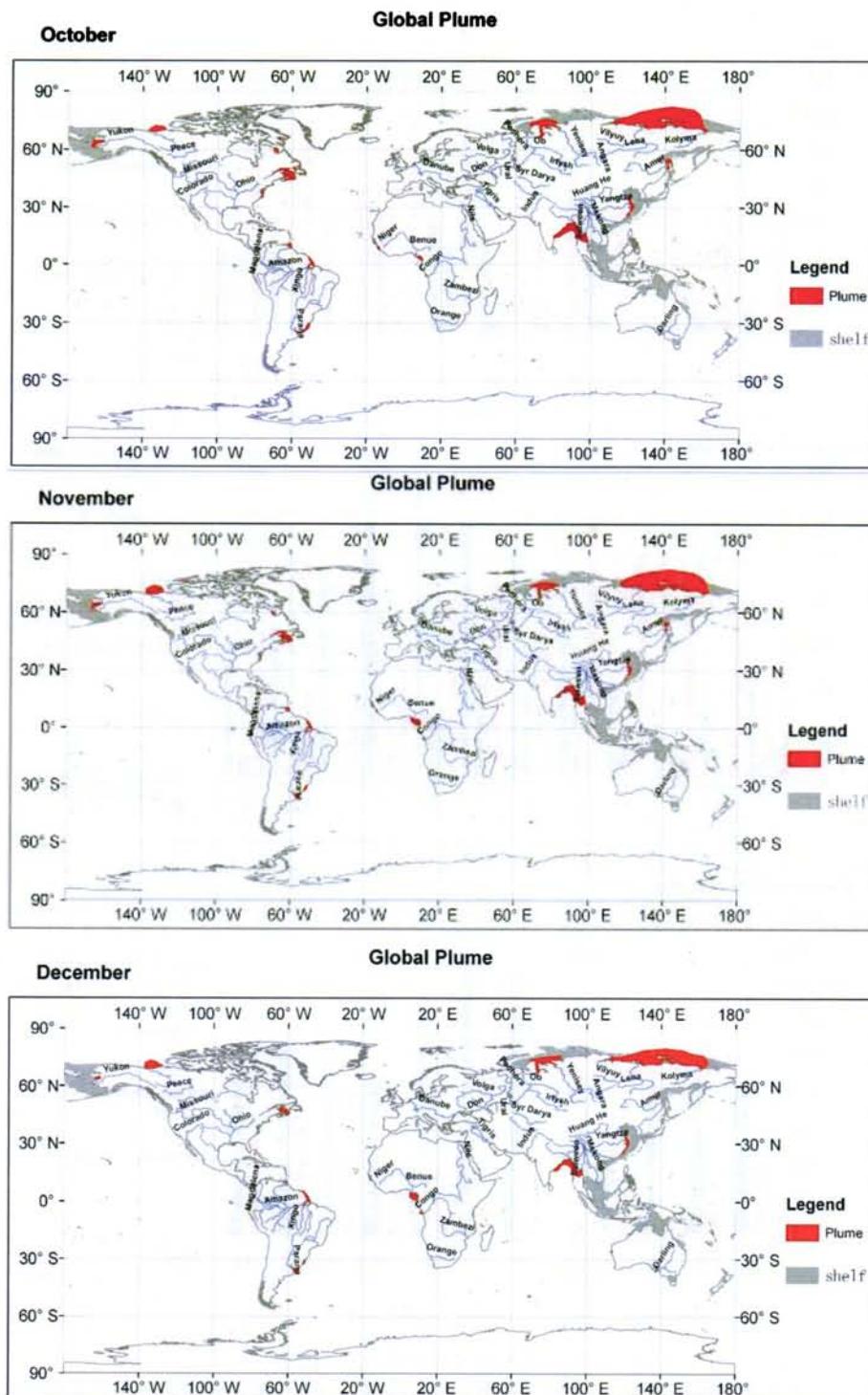


图 5.15 全球 19 条大河冲淡水区域 12 各月的平面分布

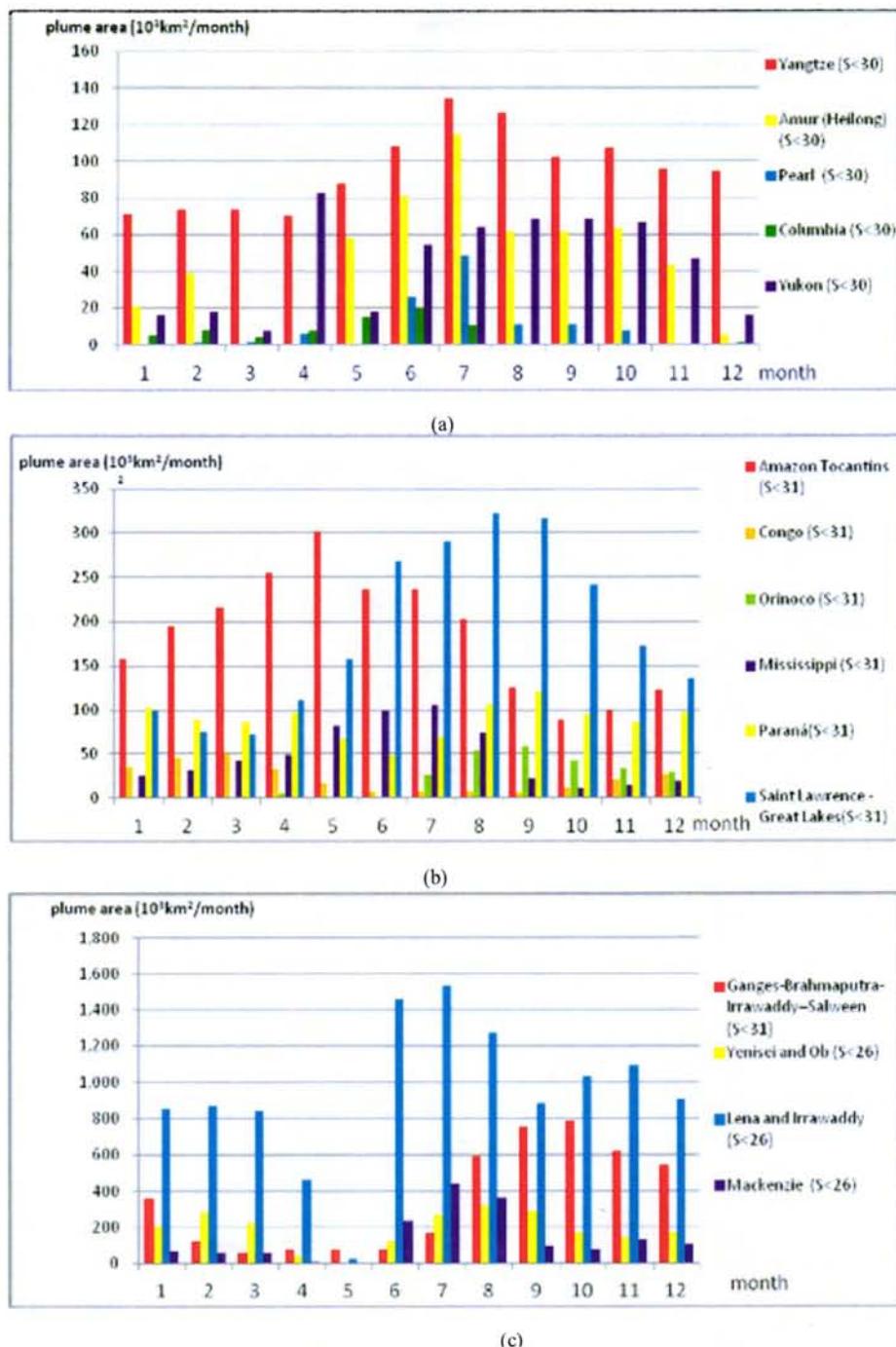


图 5.16 大河冲淡水面积的月平均变化
((a) 流入太平洋的河流, (b) 流入大西洋的河流, (c) 流入印度洋和北冰洋的河流)

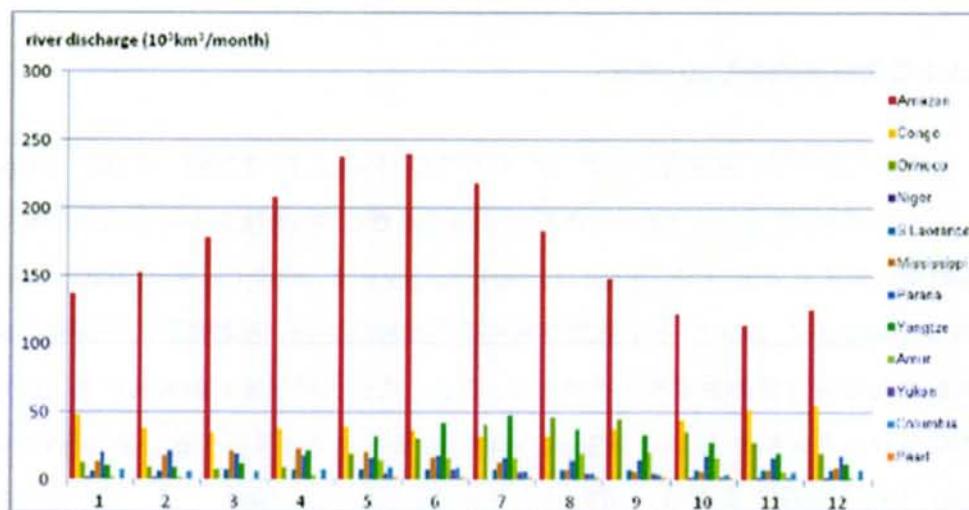


图 5.17 主要大河流量的月平均变化

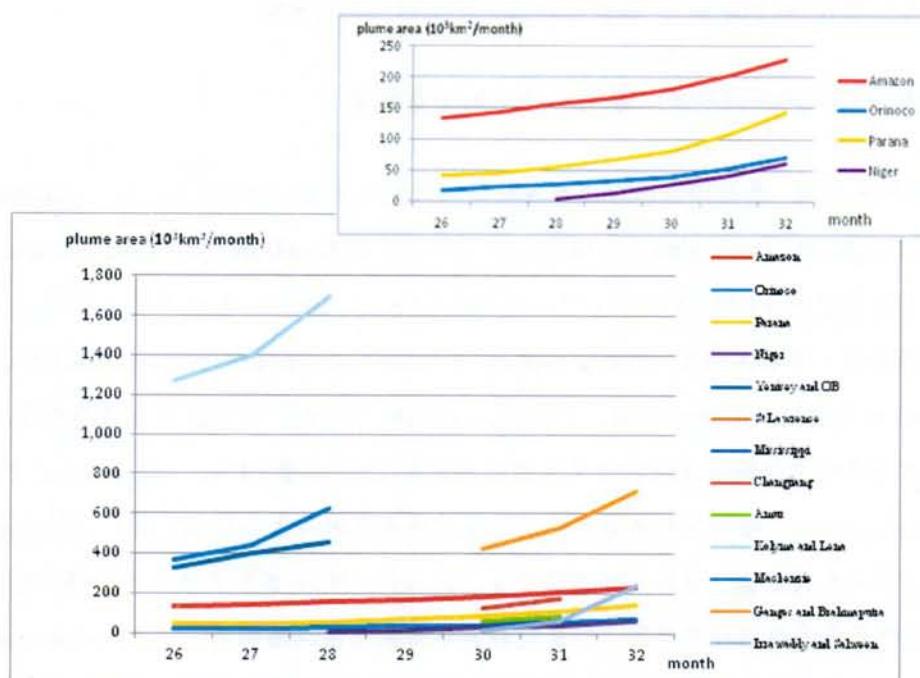
(河流流量数据来源于: river discharge database 网站, 网址是 www.sage.wisc.edu/riverdata/index.php)

图 5.18 河流的面积随盐度变化

(小图是大图中四条曲线的放大显示)



5.2.5 河流冲淡水的面积在海气 CO_2 通量估算中的应用

5.2.5.1 陆架海海域海气 CO_2 通量

根据以往的研究，海洋每年从大气中大约吸收 -1.4PgC 到 -2.2PgC 的 CO_2 (Gruber et al., 2009; Takahashi et al., 2009)，然而仅占海洋总面积 7% 的陆架海每年从大气中吸收的 CO_2 的量大约是 0.3PgC (Thomas et al., 2004; Borges et al., 2005; Cai et al., 2006; Chen et al., 2009; Laruelle et al., 2010)。除了陆架海域碳循环过程复杂外，面积统计的不同也会给在该海域的海气 CO_2 通量的估算带来不确定性。在此，我们利用收集到的数据和本文的方法计算的陆架海的表面积为 $26.15 \times 10^6 \text{km}^2$ (水深 <200 米)，这个结果介于最小值 $25.83 \times 10^6 \text{km}^2$ (Cai, 2006) 和最大值 $30.0 \times 10^6 \text{km}^2$ (Chen and Borges, 2009) 之间。对于陆架海海域单位面积上的 CO_2 通量，我们综合前人的文献取 $-0.8\text{molC m}^{-2} \text{yr}^{-1}$ ，该值是大洋海域 $-0.35\text{molC m}^{-2} \text{yr}^{-1}$ (Takahashi et al., 2009) 的两倍多。最终计算出全球陆架海海域海-气 CO_2 通量大约为 $-0.251 \text{ PgC yr}^{-1}$ ，与前人的研究结果对比见表 5.8。

5.2.5.2 全球主要大河河流冲淡水海域海-气 CO_2 通量估算

已有的研究发现，某些河流的冲淡水海域是大气 CO_2 的源，例如斯凯尔特河 ($1.9\text{molC m}^{-2} \text{yr}^{-1}$) (Borges and Frankignoulle, 2002)、卢瓦尔河 ($10.5\text{molC m}^{-2} \text{yr}^{-1}$) (de la Paz et al., 2010) 和肯纳贝克河 ($0.9\text{molC m}^{-2} \text{yr}^{-1}$) (Salisbury et al., 2009)。而世界上大多数大河的冲淡水海域都是大气 CO_2 的汇，例如亚马逊河 ($-0.5\text{molC m}^{-2} \text{yr}^{-1}$) (Körtzinger, 2003) 和长江 ($-1.9\text{molC m}^{-2} \text{yr}^{-1}$) (Chen et al., 2008; Zhai and Dai, 2009)。但是即使是这些作为大气 CO_2 汇的大河冲淡水海域，在其内河口也仍然可能是 CO_2 的源 (Chen and Borges, 2009; Lohrenz et al., 2010)。由于没有充足有效的河流冲淡水区域提取与面积计算，又缺乏海气 CO_2 通量计算的相关数据，估算全球河流冲淡水海域海气 CO_2 通量有很大的不确定性。

尽管能够获得的数据非常有限，但是已经有学者基于实测数据对一些大河冲淡水海域的海气 CO_2 通量进行了研究。在亚马逊河冲淡水海域，夏季的海气 CO_2 通量大约是 $-0.5\text{molC m}^{-2} \text{yr}^{-1}$ (Ternon et al., 2000; Kortzinger 2003)，秋季大约是 $-4--7\text{mmol m}^{-2}\text{d}^{-1}$ in autumn (Cooley et al., 2007)。长江冲淡水海域的海气 CO_2 通量大约是 $-3.4--8.0\text{mmol m}^{-2}\text{d}^{-1}$ (Tsunogai et al., 1999; Wang et al., 2000)。密西西比河冲淡水海域在 2004 年 8 月和 2006



年 4 月的海气 CO_2 通量大约 $-1.39\text{--}2.96 \text{ mmol m}^{-2}\text{d}^{-1}$ (Lohrenz et al., 2010)。我们取文献中的河流冲淡水海域的 CO_2 通量中间值 $-2 \text{ mmol m}^{-2}\text{d}^{-1}$ 作为全球 19 条大河冲淡水海域的单位 CO_2 通量的值, 再乘以统计计算得到的全球 19 条大河冲淡水海域面积平均值 $2.44 \times 10^6 \text{ km}^2$, 得出这 19 条大河每年从大气中吸收的 CO_2 约为 -0.0214 Pg C (这里一年按 365 天算)。这个值约占到整个陆架海从大气中吸收 CO_2 总量 (-0.251 Pg C) 的 8.5%。

5.3 本章小结

本章主要介绍了海洋卫星数据服务系统-OSDSS 在台风事件及大河冲淡水面积计算中的应用。使用中, 首先对各类数据进行预处理, 然后将处理好的数据输入到 OSDSS 的数据库服务系统中, 再利用 OSDSS 提供的各类数据服务对数据进行进一步加工整理, 得到我们所需要的结果。

第一个实例以 2011 年 7-8 月的台风“梅花”为例, 具体描述了 OSDSS 在台风事件中的应用。首先利用 OSDSS 提供的数据服务功能对收集到的海洋卫星数据 (包括 ASCAT 的风场数据、MODIS 的叶绿素浓度数据以及 AMSR-E 的温度数据) 及其他数据进行处理和可视化, 然后分析和探讨了台风过境前后, 过境海域的温度、风速、以及叶绿素浓度的时空变化。OSDSS 处理各类海洋卫星数据在台风过境前后的时空变化是非常快速方便的, 而且直观形象, 节省了大量的数据处理的时间, 在分析海洋上层环境对台风的响应中具有重要应用。

本章第二个实例是河流冲淡水区域的提取和面积计算, 以及在碳通量计算中的应用, 这对海洋综合研究具有重要的意义。首先利用 OSDSS 对海洋表层的盐度数据和基础地理信息数据进行处理, 然后输入到 OSDSS 的数据库中。利用 OSDSS 的数据可视化服务功能对盐度数据进行可视化处理, 使我们更加直观地了解数据的大体情况。然后利用数据分析服务功能对盐度数据与基础地理信息数据进行综合分析, 得到全球 19 条大河的冲淡水的面积进行统计计算, 给出了 19 条大河冲淡水的气候态月平均的区域和具体的面积值, 最后结合文献资料进一步估算了陆架海海域和全球主要大河河流冲淡水海域的 CO_2 通量。



6. 总结和展望

本章总结论文的研究内容与成果，阐述论文的创新点，分析研究中存在的一些问题和不足，并提出了进一步研究方向。

6.1 主要研究内容总结

1. 建立了海洋卫星数据空间数据模型，并利用 GIS 技术设计了统一的数据访问接口，开发了多源海洋卫星数据库管理系统和海洋卫星数据元数据服务系统。

海洋卫星数据库管理系统将过去以文件形式管理的数据，用数据库进行更有效的管理。首先对多源卫星数据进行了详细的分析，包括数据的物理意义、数据来源、数据格式、数据的使用情况等，并按照数据的时空特性将数据重新组织，建立合理的海洋卫星数据结构。然后利用 ArcGIS Engine 和 ArcSDE 技术建立了基于 SQLServer 2005 的海洋卫星数据库管理系统。海洋卫星数据库管理系统实现了包括 L3 级及 L4 级海洋水色水温数据产品在内的多种海洋卫星数据产品，以及 ARGO、船测等其他的相关海洋环境数据的管理。

为了使海洋遥感数据能更广泛更有效率地被科研人员及大众使用，设计开发了海洋卫星元数据服务系统。在了解各种元数据标准和比较各种与海洋有关的元数据的基础上，参照《海洋信息元数据标准》(ISO 19115 专用标准)，结合海洋卫星遥感数据自身的特点，建立起适合海洋卫星数据的元数据参考标准体系，设计出具有高效的可扩充与互操作特点的海洋卫星元数据的 XML 结构，最后在此基础上开发了海洋卫星数据的元数据管理系统。

2. 研究开发了基于网络的海洋卫星数据的三维可视化与分析平台

研究开发了基于 Google Earth API 技术和 KML 语言规范的海洋卫星数据的可视化服务系统，目前可以对海洋水色水温数据、海洋表面风场数据以及部分实测数据进行可视化，并且实现了海洋卫星数据及其他数据在 Google Earth 上的可视化技术，能够直接在海洋卫星数据服务的网页上在线观看可视化的结果。这种数据可视化服务在多源海洋卫星数据综合显示时，具有良好的效果，例如在台风莫拉克期间，各个卫星所观测到的海洋参数的动态显示形象地再现了海洋各个物理参量的时空变化情况，为理解海洋现象提供了一个直观的认识。



3. 开展了典型的海洋卫星数据可视化和分析服务应用

研究了基于 Web 的数据综合分析与空间统计分析服务技术，并以台风过境前后海表温度、海面风场、海表叶绿素浓度的时空变化以及全球大河冲淡水区域的提取及面积统计为实例来说明海洋卫星数据服务系统-OSDSS 服务功能，尤其是 OSDSS 的空间分析与统计分析功能。在台风过境海洋卫星数据的时空变化分析中，可以按照台风 7 级风圈的范围或沿台风路径 50 公里的范围做缓冲区分析，分析在此范围内的风速、海温以及叶绿素浓度的时空变化。在大河冲淡水面积的统计中，可以按照不同的盐度阈值对处于不同海区的河流冲淡水区域进行提取，并对提取的大河冲淡水的面积进行计算与统计，给出统计结果。

6.2 研究的创新点

本文针对目前海洋卫星数据多源、海量、高动态的特点，建立了一套有效数据管理与共享的海洋卫星数据服务系统原型，能够支持具有模糊边界的高动态海洋过程的可视化和海洋多要素场的关联分析，为面向海洋环境的科研分析与决策服务提供技术支撑。论文的创新点有：

(1) 建立了包括我国自主海洋卫星数据的空间数据模型，并设计了统一的数据访问接口，开发了海洋卫星数据库管理系统和海洋卫星数据元数据服务系统原型。

海洋卫星数据的多源性给海洋卫星数据的管理与综合应用带来了困难。本文在充分了解和分析多源数据时空特性的基础上，建立了海洋卫星数据空间数据结构，并利用 GIS 技术设计统一的数据访问接口，对多源海洋卫星数据进行综合管理，开发建立了海洋数据库管理系统和海洋卫星数据元数据服务系统。

(2) 根据海洋数据点、线、面、高动态多时相的特点，开发基于网络的海洋三维可视化及分析平台。

海洋卫星数据的多源性，给海洋卫星数据的空间综合显示，尤其是基于网络的综合显示应用带来了困难。本文利用 Google Earth API 和 KML 技术，开发了基于网络的三维综合显示平台，并在此基础实现了基于网络的在线可分析服务功能。

(3) 利用本文的海洋卫星数据服务系统-OSDSS 的综合分析服务功能，首次给出了全球 19 条大河冲淡水面积的季节变化。

利用海洋卫星数据服务系统-OSDSS 的综合分析服务功能，利用 NOAA 的全球气候态



月平均盐度数据，统计分析了全球盐度在大河冲淡水区域的分布及面积值，并将这些面积值应用于冲淡水区域的 CO₂通量估算中。OSDSS 的综合分析功能为全球 19 条典型大河冲淡水面积的季节变化及碳通量的研究提供了重要的研究平台，已在研究中发挥了作用。

6.3 存在不足与研究展望

本文存在的不足：

- 1) 目前，海洋卫星数据服务系统-OSDSS 能够在线提供基本的数据服务及可视化与分析服务，但是能够服务的卫星数据尚不能覆盖所有常用的卫星数据，仍然需要继续研究其他卫星数据的特点，不断增加和完善-OSDSS 的数据服务种类和功能。
- 2) 海洋卫星数据具有多源的特点，对于多尺度、异构分布的特点本论文还没有进行充分的研究，基于多尺度、异构分布式海洋卫星数据可视化与分析服务的功能有待于进一步的研究。

研究展望：

- 1) 继续分析研究其他常用的海洋卫星数据的特点，增加和完善海洋卫星数据服务的种类和功能；
- 2) 扩展加入高空间分辨率的海洋卫星遥感资料，开展基于网络的多尺度海洋虚拟环境可视化技术研究；
- 3) 进行网络数据安全、数据传输方面的深化研究，开展异构、分布式海洋遥感信息分析服务。



参考文献：

- 蔡海尼, 何盼, 文俊浩, 等. 2009. 面向服务架构的数据服务在数据访问中的应用[J]. 重庆大学学报, 32(10):1208-1213.
- 车志胜. 2009. 我国海洋水色卫星发展概述[J]. 广西科学院学报, 25(01):76-80.
- 陈达熙, 孙湘平, 浦泳修等. 1992. 渤海、黄海、东海海洋图集-水文[M]. 海洋出版社, 北京.
- 陈喆民, 王晓锋. 2007. 海洋核心元数据标准初探[J]. 现代计算机, 06: 120-123.
- 戴伟. 2009. 基于 ArcGIS+Server 平台的 WebGIS 台风预报系统应用研究[D]. 武汉: 武汉理工大学.
- 邓世军, 孟令奎, 吴沉寒, 许林. 2005. 基于 SOAP 的海量空间数据服务[J]. 地理空间信息, 3(5):31-34
- 杜云艳, 冯文娟, 何亚文, 等. 2010. 网络环境下的地理信息服务集成研究[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 35(3):347-349.
- 冯浩鉴, 方爱平, 于福江, 等. 1999. 已进入可运行状态的风暴潮灾害预估系统[J]. 测绘科技动态, 37(2):46-48+45.
- 冯浩鉴. 1996. GIS 支持下的风暴潮灾害预估系统[J]. 测绘科技动态, (4):38-41+43.
- 冯浩鉴, 于福江, 方爱平, 文汉江. 1997. GIS 支持下风暴潮漫滩计算与减灾防灾[J]. 海洋测绘, 03:9-20.
- 冯士祚, 李凤岐, 李少箐. 2004. 海洋科学导论[M]. 北京, 高等驾驭出版社, 83-102.
- 付东洋, 丁又专, 雷惠, 等. 2009. “百合”台风对海表温度及水色环境影响的遥感分析[J]. 海洋学研究, 27(2):64-70.
- 管建平, 邓勇伟. 2010. 房产地理信息系统建设实践探索[J]. 中国房地产, (4):30-33.
- 郭忠文, 尚传进, 管恩花. 2006. 面向服务构架的海洋数据集成系统的设计与实现[J]. 计算机应用研究, (2):151-154.
- 何珍祥, 董逸生. 2008. 面向服务架构(SOA)的由来与发展[J]. 福建电脑, (8):7-9.
- 何亚文, 杜云燕, 苏奋振. 2009. 基于 Web Services 的 Argo 数据应用服务框架与实现[J]. 海洋通报, 31(4):126-131.
- 贺明霞, 贺双颜, 王云飞, 等. 2011. 中国卫星海洋观测系统及其传感器(1988-2025). 中国海洋大学学报, 41(12):91-103.
- 何贤强. 2010. 海洋水色卫星遥感数据的接收和处理[Z]. 海洋遥感技术与应用培训教材. 杭州.
- 侯文峰. 1999. 中国“数字海洋”发展的基本构想[J]. 海洋通报, 18(6):1-10.
- 黄艳菊, 张杰林. 2007. 基于 GIS 房产信息分类与编码[J]. 北京测绘, (4):21-24.
- 季民, 斯奉祥, 李婷, 等. 2009. 海洋多维数据仓库构建研究[J]. 海洋学报(中文版), 31(6):48-53.
- 江春发, 王仁谦. 2003. 用 GIS 技术建立台风跟踪预警系统[J]. 华侨大学学报(自然科学版), 24(1): 60-63.
- 蒋军. 2007. 面向数据集成的数据服务开发工具[D]. 天津: 天津大学.
- 金昆. 2009. 基于 SOA 的数据服务方法研究与应用[D]. 北京: 北方工业大学.
- 李琦, 黄晓斌. 2002. 基于 GeoAgent 的地理信息服务[J]. 测绘通报, (6):44-47.
- 李安虎, 周玉斌, 刘海行, 等. 2004. 基于 WebGIS 的海洋科学数据共享平台的分析与设计[J]. 海洋科学进展, 22(1):85-90.



- 李德仁, 黄俊华, 邵振峰. 2008. 面向服务的数字城市共享平台框架的设计与实现[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 33(9):881-885.
- 李博霏, 李欣, 李艳明. 2011. 基于浏览器的地理信息服务客户端技术研究[J]. 计算机工程与设计, (9):3031-3035.
- 李慧青, 朱光文, 李燕, 等. 2011. 欧洲国家的海洋观测系统及其对我国的启示[J]. 海洋开发与管理, (1):1-5.
- 李四海, 刘百桥. 1996. 海洋遥感特征及其发展趋势[J]. 遥感技术与应用, (2):68-72.
- 李学荣, 李莎. 2007. 海洋水色遥感元数据及其系统设计[J]. 热带海洋学报, 26(1):81-86.
- 李岩松. 2005. 基于 Web 的 OCR 数据服务[D]. 天津:天津大学.
- 李帅, 王永丽, 杨宝祝. 2010. 基于 SOA 的数据服务中间件的研究与实现[J]. 成都信息工程学院学报, 25(5): 457-461.
- 梁晓松, 游雄, 王珂珂. 2009. 面向服务的 ArcGIS Service 架构研究[J]. 测绘科学, 34(3):89-91.
- 凌晓东. 2007. SOA 综述[J]. 计算机应用于软件, 24(10):122-124.
- 刘峰. 2007. 基于网格服务的地理空间信息共享平台关键技术研究[D]. 山东: 山东科技大学.
- 刘伟. 2010. 基于地理本体的空间数据服务发现与集成[D]. 河北:中国矿业大学.
- 刘文亮, 苏奋振, 杜云艳. 2009. 海洋标量场时空过程远程动态可视化服务研究[J]. 地球信息科学学报, 11(4):513-519.
- 刘超. 2009. 数据服务管理组件与多源查询引擎设计与实现[D]. 天津:天津大学.
- 刘贤三, 张新, 梁碧苗, 等. 2010. 海洋 GIS 时空数据模型与应用[J]. 测绘科学, 35(6):143-144.
- 陆锋, 周大良, 郭朝珍, 等. 2002. 面向网络海量空间信息的 GIS 平台体系结构[J]. 地球信息科学, (3):26-34.
- 陆冬云, 贾红阳, 温浩, 等. 2001. 基于 Internet 的直接网络数据服务的基本概念与技术框架[J]. 计算机与应用化学, 18(5):466-472
- 卢娟, 李沛川. 2005. 浅析电力 GIS 系统的发展及其主要功能[J]. 测绘通报, (2):55-58.
- 吕晶晶. 2008. 利用 OPeNDAP 构建卫星数据共享平台[J]. 科技创新导报, (13):20.
- 罗向欣, 王远飞, 邵德民. 2007. 基于 ArcIMS 的台风信息发布系统的设计与实[J]. 中国科技论文在线, 2(6):420-423.
- 毛新生. 2007. SOA 原理、方法、实践[M]. 北京: 电子工业出版社, 27-68.
- 潘德炉, 白雁. 2008. 我国海洋水色遥感应用工程技术的新进展[J]. 中国工程科学, 10(9):14-46.
- 潘德炉, 王迪峰. 2004. 我国海洋光学遥感应用科学的新进展[J]. 地球科学进展, 19(4) : 506-512.
- 沙一鸣, 尤晋元. 1997. 基于 Internet 的动态数据服务技术研究[J]. 上海交通大学学报, 31(8):16-19.
- 邵全琴. 2001. 海洋 GIS 时空数据表达研究[D]. 北京:中国科学院地理科学与资源研究所.
- 沈惠璋, 赵继娣, QIU Robin. 2010. 基于 SOA 的分布式服务供应链信息共享平台研究与实践[J].计算机应用研究, (2):606-610.
- 孙庆辉, 王家耀, 钟大伟, 等. 2009. 空间信息服务模式研究[J]. 武汉大学学报(信息科学版) , 34(3):344-347.
- 宋琦. 2009. 基于数据服务的数据集成开发工具的优化与实现[D]. 天津: 天津大学.
- 苏奋振, 杜云艳, 裴相斌, 等. 2006. 中国数字海洋构建基准与关键技术[J]. 地球海洋科学, (l): 12-20.



- 唐秀良. 2009. SOA 发展探索与研究[J]. 中国电子科学研究院学报, 4(5):473-479.
- 滕龙妹, 刘仁义, 刘南. 2008. 海洋遥感数据一体化管理方法[J]. 上海交通大学学报, 42(10):1674-1677.
- 田梦. 2007. 数据管理走向数据服务[J]. 计算机世界, (17):1.
- 王景来. 1994. 遥感地理信息系统与减灾[J]. 中国减灾, 4(3):66.
- 王远飞, 陆涛, 朱海燕, 等. 2008. 基于 GIS 的热带气旋相似路径检索系统研究[J]. 测绘科学, 31(5):124-125.
- 王军, 许世远, 石纯, 叶明武. 2008. 基于多源遥感影像的台风灾情动态评估——研究进展[J]. 自然灾害学报, 17(3):22-27.
- 王方雄, 边馥荃. 2004. 从 GISystem 到 GIService: GISystem 发展的必然趋势[J]. 华中师范大学学报(自然科学版), 38(4):528-532.
- 王成远. 2002. 分布式空间信息服务及其在数字城市中的应用[D]. 北京: 北京大学.
- 王玉海. 2008. 地理信息服务中心数据传输的策略研究[D]. 郑州: 解放军信息工程大学.
- 王建涛. 2005. 基于 Web 的地理信息服务的研究与实践[D]. 郑州: 解放军信息工程大学.
- 王燕. 2008. 地球科学数据分析处理和可视化系统 GIOVANNI[J]. 应用气象学报, 19(1):125-127.
- 王显玲, 秦勃, 刘培顺. 2009. 基于网格技术的 Argo 数据共享系统[J]. 计算机工程与设计, 30(15):3634-3637.
- 王振占, 李芸. 2009. 利用星载微波辐射计 AMSR-E 数据反演海洋地球物理参数[J]. 遥感学报, 13(3):363-370.
- 温彦, 刘晨, 韩燕波. 2012. iViewer: 利用数据服务即时生成跨域数据视图[J]. 计算机科学与探索, 6(3):221-236.
- 翁颖钧, 朱仲英. 2003. 地理信息系统技术在电力系统自动化中的应用[J]. 电力系统自动化, 27(18):74-78.
- 吴培中. 1993. 卫星海洋遥感及其在我国的应用和发展目标[J]. 国土资源遥感, (1):1-7.
- 谢兴生, 庄镇泉. 2009. 一种基于数据服务匹配的数据集成方法研究[J]. 中国科学技术大学学报, 39(5):504-509.
- 谢兴生. 2007. 基于数据服务匹配的数据集成方法研究与实现[D]. 合肥: 中国科学技术大学.
- 许欢. 2009. 面向服务的土地资源空间信息多级语义网格研究[D]. 杭州: 浙江大学.
- 徐超, 李莎, 米浦春. 2010. 南海物理海洋数据的 OPeNDAP 服务实现[J]. 热带海洋学报, 29(4):174-180.
- 薛慧芬. 2004. 国际上几种海洋元数据内容剖析[J]. 海洋信息, (3):25-28.
- 薛存金. 2008. 海洋 GIS 时空过程数据模型研究[D]. 北京: 中国科学院地理科学与资源研究所.
- 杨峰, 杜云艳, 苏奋振, 等. 2008. 基于 Web 服务的海洋矢量场远程可视化研究[J]. 地球信息科学, 10(6):749-756.
- 姚棣荣, 刘孝麟. 2001. 浙江省热带气旋灾情的评估[J]. 浙江大学学报(理学版), 28(3):344-348.
- 尹毅, 王静, 毛庆文, 齐义泉. 2008. 基于 GIS+的南海台风风浪预报系统[J]. 海洋通报, 27(6): 76-81.
- 于海龙, 邬伦, 刘瑜, 等. 2006. 基于 Web Services 的 GIS 与应用模型集成研究[J]. 测绘学报, 35(2):153-159.
- 赵艳玲, 何贤强, 王迪峰, 等. 2005. 基于 Web 海洋卫星遥感产品的查询系统. 东海海洋, 23(1):32-39.
- 张光宇, Y C Lee. 1990. 地理信息系统的回顾与展望(上)[J]. 测绘通报, (4):31-36.



- 张珊. 2011. REST 式 GIS 服务聚合研究及软件开发[D]. 上海:华东师范大学.
- 张峰, 李四海, 王伟. 2009. 基于元数据的渤海海洋信息资源目录服务系统[J]. 环境保护与循环经济, (10):31-34.
- 张峰, 石绥祥, 殷汝广, 等. 2009. 数字海洋中数据体系结构研究[J]. 海洋通报, (4): 1-8.
- 张毅, 蒋兴伟, 林明森, 等. 2009. 星载微波散射计的研究现状及发展趋势[J]. 遥感信息, (6): 87-94.
- 张兵建. 2008. 基于 XML 的海洋信息元数据标准的研究与实现. 青岛:中国海洋大学.
- 张延松, 张宇, 李德有. 2008. 数据服务网格(DataserviceGrid)中的数据服务中间件研究[J]. 哈尔滨金融高等专科学校学报, (2):46-47.
- 张胜, 杨柳. 2011. 基于 SOA 的数据服务平台设计[J]. 软件导刊, 10(6):166-167.
- 郑卫江, 吴焕萍, 罗兵, 等. 2010. GIS 技术在台风预报服务产品制作系统中的应用[J]. 应用气象学报, 21(2): 250-255.
- 周峰, 宣基亮, 倪晓波, 黄大吉. 2009. 1999 年与 2006 年间夏季长江冲淡水变化动力因素的初步分析[J]. 海洋学报, 31(4):1-12.
- 朱振杰. 2006. SOA 的关键技术的研究与应用实现[D]. 成都:电子科技大学.
- 诸云强, 孙九林, 廖顺宝, 等. 2010. 地球系统科学数据共享研究与实践[J]. 地球信息科学学报, 12(1):1-8.
- Acker J G and Leptoukh G. 2007. Online analysis enhances use of NASA Earth science data[J], Eos Trans. AGU, 2: 14.
- Alonso G, Casati F, Kuno H, et al. 2010. Web Services: Concepts, Architectures and Applications[M]. Springer, 256-279.
- Antonov J I, Seidov D, Boyer T P, et al. 2010. World Ocean Atlas 2009[Z], 02: 184
- Babin S M, Carton J A, Dickey T D, et al. 2004. Satellite evidence of hurricane-induced phytoplankton blooms in an oceanic desert [J]. J. Geophys. Res, 109: C03043.
- Berrick S W, et al. 2009. Giovanni: A Web Service Workflow-Based Data Visualization and Analysis System [J]. IEEE Transactions On Geoscience And Remote Sensing, 01:106-113.
- Binding C E and Bowers D G. 2003. Measuring the salinity of the Clyde Sea from remotely sensed ocean colour [J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 04: 605–611.
- Borges A V and Frankignoulle M. 2002. Distribution and air water exchange of carbon dioxide in the Scheldt plume off the Belgian coast [J]. Biogeochemistry, 59(1–2): 41-67.
- Borges A V, Delille B and Frankignoulle M. 2005. Budgeting sinks and sources of CO₂ in the coastal ocean: Diversity of ecosystems counts [J]. Geophysical Research Letters, 32:L14601.
- Butler D. 2006. The web-wide world [J]. Nature, 439 (7078): 776-778.
- Carey M. 2006. Data delivery in a service-oriented world: the BEA aquaLogic data services platform [C/OL]. //In Proceedings of the 2006 ACM SIGMOD international conference on Management of data (SIGMOD '06). ACM, New York, NY, USA, 695-705. <http://doi.acm.org/10.1145/1142473.1142551>.
- Cai W J. 2003. Riverine inorganic carbon flux and rate of biological uptake in the Mississippi River plume [J]. Geophysical Research Letters, 30(2): 1032.
- Cai W J, Dai M and Wang Y. 2006. Air-sea exchange of carbon dioxide in ocean margins: a province-based synthesis [J]. Geophysical Research Letters, 33:L12603
- Cauldwell P, Chawla R, Chopra V, et al. 2001. Professional XML Web Services [M]. Birmingham. UK, Wrox Press Ltd.



- Chang P H and Isobe A. 2003. A numerical study on the Changjiang diluted water in the Yellow and East China Seas [J]. *Journal of Geophysical Research*, 108(C9): 3299.
- Chen X, Pan D, He X, Bai Y and Wang D. 2012. Upper ocean responses to category 5 typhoon Megi in the western north Pacific [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 31(1): 51-58
- Chen A, Leptoukh G, Kempler S, Lynnes C, Savtchenko A, Nadeau D, Farley J. 2009. Visualization of A-Train vertical profiles using Google Earth [J]. *Computers and Geosciences*, 35(8):419-427.
- Chen A, Leptoukh G, Kempler S. 2009. Visualization of NASA campaign mission vertical profiles using Google Earth [C]. The 17th International Conference on Geoinformatics, Geoinformatics, Fairfax, United States. IEEE Computer Society.
- Chen A, Leptoukh G, Kempler S. 2010. Using KML and virtual globes to access and visualize heterogeneous datasets and explore their relationships along the A-Train track [J]. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 3(3):352-358.
- Chen A, et al. 2008. Visualization of NASA Earth Science Data in Google Earth [C]. Proceedings of the SPIE, Volume 7143. Geoinformatics 2008 and Joint Conference on GIS and Built Environment: Geo-Simulation and Virtual GIS Environments.
- Chen C T A, Zhai W and Dai M. 2008. Riverine input and air sea CO₂ exchanges near the Changjiang (Yangtze River) Estuary: Status quo and implication on possible future changes in metabolic status [J]. *Continental Shelf Research*, 28: 1476-1482.
- Chen C T A and Borges A V. 2009. Reconciling opposing views on carbon cycling in the coastal ocean: continental shelves as sinks and near shore ecosystems as sources of atmospheric CO₂ [J]. *Deep Sea Research Part II*, 56(8–10): 578–590.
- Chen C T A, Huang T H, Fu Y H, Bai Y and He X. 2012. Strong source of CO₂ in upper estuaries become sinks of CO₂ in large river plumes [J]. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, in press.
- Chen D X. 1992. Marine Atlas South China Sea—Hydrology [M]. China Ocean press, Beijing, 100.
- Chen Z and Wu L. 2011. Dynamics of the seasonal variation of the North Equatorial Current bifurcation [J]. *Journal of Geophysical Research*, 116: C02018.
- Chen Z, Hu C, Conmy R N, et al. 2007. Colored dissolved organic matter in Tampa Bay, Florida [J]. *Marine Chemistry*, 104 (1–2): 98–109.
- Cooley S R, Coles V J, Subramaniam A et al. 2007. Seasonal variationsin the Amazon plume-related atmospheric carbon sink [J]. *Global Biogeochemical cycles*, 21(GB3014).
- Dawn J. Wright etc. 2007. Arc Marine GIS for a Blue Planet [M]. California: ESRI PRESS.
- Dagg M, Benner R, Lohrenz S and Lawrence D. 2004. Transformation of dissolved and particulate materials on continental shelves influenced by large rivers: Plume processes [J]. *Continental Shelf Research*, 24: 833–858.
- de la Paz, Padín M, X. A, et al. 2010. Surface fCO₂ variability in the Loire plume and adjacent shelf waters: High spatiotemporal resolution study using ships of opportunity [J]. *Mar Chem*, 118: 108–118.
- D'Sa, E J and Miller R L. 2003. Bio-optical properties in waters influenced by the Mississippi River during low flow conditions [J]. *Remote Sensing of Environment*, 84 (4): 538–549.
- Duncan A C. 2009. Upside-down Quakes: Displaying 3D Seismicity with Google Earth [J]. *Seismological Research Letters*. 80(3): 499-506
- Ducklow H W and McCallister S L. 2004. The biogeochemistry of carbon dioxide in the coastal oceans [M], The Sea, 13, The Global Coastal Ocean—Multiscale Interdisciplinary Processes, edited by A. R. Robinson and K. Brink, Chapter 9, 269– 315.



- Dzwonkowski B and Yan X H. 2005. Tracking of a Chesapeake Bay estuarine outflow plume with satellite-based ocean color data [J]. *Continental Shelf Research*, 25 (16), 1942–1958.
- Erl T. 2005. Service-Oriented Architecture: Concepts, Technology, and Design [M]. USA NJ: Prentice Hall PTR.
- Figa-Saldana J, Wilson J J W, Attema E, et al. 2002. The Advanced Scatterometer(ASCAT) on the Meteorological Operational(MetOp) Platform: A Follow on for European Wind Scatterometers [J]. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 28(3):404-412.
- Greenberg J. 2005. Understanding Metadata and Metadata Schemes [J]. *Catalogong & Classification Quarterly*, 40(3-4):17-36.
- Green R E, Bianchi T S, Dagg M J, et al. 2006. An organic carbon budget for the Mississippi River turbidity plume and plume contributions to air-sea CO₂ fluxes and bottom water hypoxia [J]. *Estuaries Coasts*, 29: 579-597
- Gruber N, Gloor M, Mikaloff F SE, et al. 2009. Oceanic sources, sinks, and transport of atmospheric CO₂ [J]. *Global Biogeochem. Cycles*, 23(2009): GB1005.
- Gupta A and Krishnan P. 1994. Spatial distribution of sediment discharge to the coastal waters of South and Southeast Asia [M]. In, Olive L J. and Kesby J A (Eds.) *Variability in Stream Erosion and Sediment Transport*. IAHS Publication 224, Wallingford, 457-463.
- Guo X H, Cai W J, Huang W J, et al. 2012. Carbon dynamics and community production in the Mississippi River plume [J]. *Advancing the science of Limnology and Oceanography*, 57(1): 1-17.
- Hsu M H, Chen A S, Chen L C, Lee C S, Lin F T, et al. 2011. A GIS-based Decision Support System for Typhoon Emergency Response [J]. *Geotechnical and Geological Engineering*, 29(1):7-12.
- Higgins H W, Mackey D J and Clementson L. 2006. Phytoplankton distribution in the Bismarck Sea North of Papua New Guinea: The effect of the Sepik River outflow [J]. *Deep Sea Research Part I*, 53(11): 1845-1863.
- Hu C, Montgomery E T, Schmitt R W, et al. 2004. The dispersal of the Amazon and Orinoco River water in the tropical Atlantic and Caribbean Sea: observation from space and S-PALACE floats [J]. *Deep Sea Research Part II*, 51 (10-11): 1151–1171.
- Hou W F. 2006. Marine Atlas of the North China Sea—Hydrology [Z]. China Ocean press, Beijing, 97.
- Isobe A, Ando M, Watanabe T, et al. 2002. Freshwater and temperature transport through the Tsushima Korea Straits [J]. *Journal of Geophysical Research*, 107(C7): 3065.
- ISO 19119:2005. [EB/OL]. http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?Csnumber=39890.
- Jo Y H, Yan X H, Dzwonkowski B, et al. 2005. A study of the freshwater discharge from the Amazon River into the tropical Atlantic using multi-sensor data [J]. *Geophysical Research Letters*, 32: L02605.
- Klemas V. 2012. Remote Sensing of Coastal Plumes and Ocean Fronts: Overview and Case Study [J]. *Journal of Coastal Research*, 28(1A): 1-7.
- Koertzinger A. 2003. A significant CO₂ sink in the tropical Atlantic Ocean associated with the Amazon River plume [J]. *Geophysical Research Letters*, 30(24), 2287.
- Kouame K V, Yapo O B, Mambo V, et al. 2009. Physicochemical characterization of the waters of the coastal rivers and the lagoonal system of cote d'Ivoire [J]. *Journal of Applied Sciences*, 9(8): 1517-1523.
- Kenchington E, Cogswell A, Lurette E and Rice J. 2010. A Geographic Information System (GIS) Simulation Model for Estimating Commercial Sponge By-catch and Evaluating the Impact of Management Decisions [J]. *Research Document*, 2010(40): 46.



- Koblenz. 2009. Global Runoff Data Centre (2009): Surface Freshwater Fluxes into the World Oceans / GRDC [Z]. Federal Institute of Hydrology (BfG)
- Kang Y, Pan D, He X, et al. 2010. Metadata Research and Design of Ocean Color Remote Sensing Data Based on Web Service [C]. Proceedings of SPIE.
- Kang Y and He X. 2009. The Integrated Management System of Ocean Color Remote Sensing Data [C]. Proceedings of SPIE.
- Kang Y P D, et al. 2011. A oceanic satellite data service system based on web [C]. Proceedings of SPIE.
- Kang Y, Pan D, et al. 2012. Visualization of oceanic satellite data using google earth [J]. 《Geo-Spatial Information Science》, in Press.
- Lin I , Liu W, Wu C, et al. 2003. New evidence for enhanced ocean primary production triggered by tropical cyclone [J]. Geophys. Res. Lett, 30(13): 1718.
- Laruelle G G, Dürr H H, Slomp C P and Borges A V. 2010. Evaluation of sinks and sources of CO₂ in the global coastal ocean using a spatially explicit typology of estuaries and continental shelves [J]. Geophysical Research Letters, 37: L15607.
- Lique C, Garric G, Treguier A M, et al. 2011. Evolution of the arctic ocean salinity, 2007–08: contrast between the canadian and the eurasian basins [J]. Journal of Climate, 24(6): 1705–1717.
- Lihan T, Saitoh S I, Iida T, et al. 2008. Satellite-measured temporal and spatial variability of the Tokachi River plume [J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 78 (2): 237–249.
- Lohrenz S E, Lohrenz S E, Cai W J, et al. 2010. Seasonal variability in air-sea fluxes of CO₂ in a river-influenced coastal margin [J]. Journal of Geophysical Research-Oceans, 115(C10): C10034.
- Manu M R. 2005. Information Integration Using the AquaLogic Data Services Platform [EB/OL]. <http://www.oracle.com/technetwork/articles/entarch/integration-data-services-102047.html>
- Moller G S F, Novo E M L de M and Kampe M. 2010. Space-time variability of the Amazon River plume based on satellite ocean color [J]. Continental Shelf Research, 30(3-4): 342-352.
- Moon J H, Pang I C and Yong J H. 2009. Response of the Changjiang diluted water around Jeju Island to external forcings: A modeling study of 2002 and 2006 [J]. Continental Shelf Research, 29: 1549–1564.
- Moon J H, Hirose N, Yoon J H and Pang I C. 2010. Offshore detachment process of the low salinity water around Changjiang bank in the East Chinese Sea [J]. Journal of Physical Oceanography, 40, 1035–1053.
- McKee B A. 2003. RiOMar: The Transport, Transformation and Fate of Carbon in River-dominated Ocean Margins. Report of the RiOMar Workshop [R]. Report of the RiOMar Workshop Tulane University, New Orleans.
- OGC. 2010. 06-121r9. OGC Web Services Common Standard [EB/OL]. Version2.0.0.Open Geospatial Consortium. <http://www.opengeospatial.org/standards/common>.
- OGC. 2008. 07-07-067r5. Web Coverage Service (WCS) Implementation Standard [EB/OL]. Version 1.1.2.Open Geospatial Consortium. <http://www.opengeospatial.org/standards/wcs>.
- OGC. 2007. 07-006r1. OpenGIS? Catalogue Services Specification[EB/OL]. Version 2.0.2.Open Geospatial Consortium. <http://www.opengeospatial.org/standards/requests/35>.
- OSF. 2010 OpenGIS Web Service Framework [EB/OL]. http://en.wikipedia.org/wiki/Open_Software_Foundation.
- OWS, OpenGIS Web Service [EB/OL]. <http://www.opengeospatial.org/projects/initiatives/ows-2>.
- Padm A S, Kunti K, Chawla M, et al. 2006. An approach to automating transaction management in a data services platform[C]. Proc. of the International Conference on Next Generation Web Services Practices. South Korea: IEEE, 49-55.



- Price J F. 1981. Upper ocean response to a hurricane [J]. *Journal of Physical Oceanography*, 11(2): 153-175.
- Piola A R, Romero S I and Zajaczkowski U. 2008. Space-time variability of the Plata plume inferred from ocean color [J]. *Continental Shelf Research*, 28 (13), 1556-1567.
- Prados A, Lynnes C, Johnson J, Rui H, Chen A, Husar R. 2010. Access, visualization, and interoperability of air quality remote sensing data sets via the Giovanni online tool [J]. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 3(3):359-370.
- Qu T, Gao S and Fukumori I. 2011. What governs the North Atlantic salinity maximum in a global GCM? [J]. *Geophysical Research Letters*, 38: L07602.
- Reveliotis P, Carey M. 2006. Your enterprise on xquery and XML schema: XML-based data and metadata integration [C]. Proceedings of the 22nd International Conference on Data Engineering Workshops (ICDEW'06), IEEE Computer Society, 80-90.
- Richard M. 2007. Data in SOA, Part I : Transforming Data into Information [EB/OL].
http://www.dev2dev.co.kr/pub/a/2005/06/data_integration.jsp
- Roy W S, Yefim V and Natis . 1996. Service Oriemed Archictures [EB/OL].
<http://www.gartner.com/DisplayDocument?id=302868>
- Robb C K, Bodtker K M, Wright K and Lash J. 2011. Commercial fisheries closures in marine protected areas on Canada's Pacific coast: The exception, not the rule [J]. *Marine Policy*, 35(3): 17-30.
- Siswanto E, Ishizaka J, Morimoto A, et al. 2008. Ocean physical and biogeochemical responses to the passage of Typhoon Meari in the East China Sea observed from Argo float and multiplatform satellites [J]. *Geophys. Res. Lett*, 35(15): L15604.
- Siswanto E, Morimoto A, Kojima S. 2009. Enhancement of phytoplankton primary productivity in the southern East China Sea following episodic typhoon passage [J]. *Geophys. Res. Lett*, 36(11): L11603.
- Shi W, Meng L. 2006. Integration and interoperability of multiple theme data on the basis of Google [C]. 14th International Conference on Earth Geoinformatics Wuhan, China.
- Salisbury J, Vandemark D, Hunt C, Campbell J, et al. 2009. Episodic riverine influence on surface DIC in the coastal Gulf of Maine [J]. *Estuarine Coastal Shelf Science*. 82: 108-118.
- Schettini C A F, Kuroshima K N, Pereira F J, et al. 1998. Oceanographic and ecological aspects of the Itajaí-açu river plume during a high discharge period [J]. *Anais Acad. Bras. Ciênc*, 70(2): 335-351.
- Shipe R F, Curtaz J, Subramaniam A, et al. 2006. Diatom biomass and productivity in oceanic and plume-influenced waters of the western tropical Atlantic ocean [J]. *Deep Sea Research Part I*, 53: 1320-1334.
- Smith J W O and Demaster D J. 1996. Phytoplankton biomass and productivity in the Amazon River plume: Correlation with seasonal river discharge [J]. *Continental Shelf Research*, 16: 291-319.
- Terry J P, Feng C C. 2010. On quantifying the sinuosity of typhoon tracks in the western North Pacific basin [J]. *Applied Geography*, 30(4): 678-686.
- Shi W and Meng L. 2006. Integration and interoperability of multiple theme data on the basis of Google [C]. 14th International Conference on Earth Geoinformatics Wuhan, China
- Tan Y, Zhang L J, Wang F and Hu D X. 2004. Summer Surface Water pCO₂ Flux at Air-sea Interface in Western Part of the East China Sea [J]. *Oceanologia and limnologia sinica*, 35(3): 239-245.
- Ternon J F, Oudot C, Dessier A and Diverres D. 2000. A seasonal tropical sink for atmospheric CO₂ in the Atlantic Ocean: the role of the Amazon River discharge [J]. *Marine Chemistry*, 68: 183-201.
- Thomas H, Bozec Y, Elkalay K and Hein J W B. 2004. Enhanced open ocean storage of CO₂ from shelf sea pumping [J]. *Science*, 304: 1005-1008.



- Tsunogai S, Watanabe S and Sato T. 1999. Is there a "continental shelf pump" for the absorption of atmospheric CO₂? [J]. Tellus, 51(3), 701-712.
- Takahashi T, Sutherland S C, Wanninkhof R, et al. 2009. Climatological mean and decadal changes in surface ocean pCO₂, and net sea-air CO₂ flux over the global oceans [J]. Deep Sea Research Part II, 56(8-10): 554-577.
- Thomas A C and Weatherbee R A. 2006. Satellite-measured temporal variability of the Columbia River plume [J]. Remote Sensing of Environment, 100 (2): 167–178.
- Van Westen C J. 2002. Remote Sensing and Geographic Information Systems for Natural Disaster Management [M]. In Skidmore A(Ed.), Environmental Modelling with GIS and Remote Sensing. London: Taylor & Francis, 200-226.
- Vecchio R D and Subramaniam A. 2004. Influence of the Amazon River on the surface optical properties of the western tropical North Atlantic Ocean [J]. Journal of Geophysical Research, 109 (C11001): 1–13.
- Verspeek J, Portabella M, Stoffelen Ad, et al. 2008. Calibration and Validation of ASCAT Winds [EB/OL]. http://www.knmi.nl/scatterometer/publications/pdf/ASCAT_calibration.pdf
- Vetter L, Jonas M, Schröder W and Pesch R. 2012. Marine Geographic Information Systems [M]. Springer Berlin Heidelberg, 439-460.
- Wang S L, Chen C T A, Hong G H and Chung C S. 2000. Carbon dioxide and related parameters in the East China Sea [J]. Continental Shelf Research, 20: 525–544,
- Walker N D. 1996. Satellite assessment of Mississippi River plume variability: causes and predictability [J]. Remote Sensing of Environment, 58 (1), 21–35.
- Wu H, Zhu J, Shen J and Wang H. 2011. Tidal modulation on the Changjiang River plume in summer [J]. Journal of Geophysical Research, 116: C08017.
- Yin X, Wang Z, Liu Y, et al. Ocean response to Typhoon Ketsana traveling over the northwest Pacific and a numerical model approach[J]. Geophys. Res. Lett, 2007, 34(21): L21606.
- Zhang F, Li H, Liu J and Li S. 2011. Research and realization of visual digital ocean [J]. Marine Science Bulletin, 13(1):87-96.
- Zhao H, Tang D, Wang D. 2009. Phytoplankton blooms near the Pearl River Estuary induced by Typhoon Nuri [J]. J. Geophys. Res, 114(C12): C12027.
- Zhu F, Turner M, Kotsopoulos L, et al. 2004. Dynamic data integration using Web services [C]. Proceedings of the 2004 IEEE International Conference on Web Services (ICWS '04), San Diego, California, USA. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2004: 262–269.
- Zhu J, Li Y and Shen H. 1997. Numerical simulation of the wind field's impact on the expansion of the Changjiang River diluted water in summer [J]. Oceanologia and Limnologia Sinica, 28(1): 72–79.
- Zhai W and Dai M. 2009. On the seasonal variation of air-sea CO₂ fluxes in the outer Changjiang (Yangtze River) Estuary, East China Sea [J]. Marine Chemistry, 117(1-4): 2–10.



附表 1 大河在不同盐度阈值下冲淡水的面积

(S 代表盐度, NaN 表示没有数据)

Amazon

month	S<26	S<27	S<28	S<29	S<30	S<31	S<32
January	89,938	96,585	108,798	120,930	137,690	157,178	179,664
February	130,912	137,754	149,548	162,161	178,283	94,247	211,302
March	152,576	162,826	174,408	187,936	199,443	216,132	234,263
April	138,256	150,439	173,714	191,545	216,584	254,191	322,414
May	143,221	156,791	173,438	197,690	229,287	301,252	401,350
June	149,779	158,270	170,929	192,152	214,907	236,110	276,079
July	60,609	170,128	182,534	192,130	214,447	236,957	261,685
August	132,653	142,155	155,962	167,616	181,047	203,170	229,542
September	66,185	76,084	86,732	98,475	109,884	125,664	148,892
October	48,070	52,297	58,250	69,592	78,162	88,016	99,889
November	50,328	54,288	64,661	72,540	85,915	98,700	112,390
December	57,217	65,050	78,866	91,912	106,715	123,145	146,210

Orinoco

month	S<26	S<27	S<28	S<29	S<30	S<31	S<32
January	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	6,361
February	NaN						
March	NaN						
April	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	3,950	12,150
May	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	6,389
June	NaN						
July	NaN	406	3,317	10,395	15,996	25,696	32,779
August	17,800	22,500	26,915	32,413	40,051	53,395	71,627
September	18,906	24,012	28,895	36,108	48,596	58,676	80,658
October	4,795	8,796	11,586	22,931	29,841	41,839	57,324
November	6,823	8,220	14,514	19,943	25,535	32,709	43,176
December	4,503	7,108	10,348	15,818	22,686	28,052	38,275

Parana

month	S<26	S<27	S<28	S<29	S<30	S<31	S<32
January	43,331	47,867	57,380	66,285	81,647	102,598	126,999
February	29,090	36,054	44,969	53,009	72,925	87,671	118,205



续前表 Parana

March	17,145	28,374	38,210	46,153	63,268	86,030	120,840
April	15,708	19,169	26,165	43,816	63,102	96,931	135,365
May	26,581	29,041	32,640	38,835	49,055	66,322	82,759
June	21,567	23,891	27,454	31,910	40,538	47,095	60,008
July	15,938	23,740	30,942	41,584	52,745	68,854	89,312
August	40,731	45,854	54,225	67,558	81,896	106,591	143,147
September	31,189	38,274	50,745	67,073	95,067	120,036	150,065
October	24,422	29,216	36,209	44,659	63,852	94,047	129,342
November	26,615	32,826	39,689	48,286	63,566	84,453	115,295
December	36,062	43,825	51,413	60,663	77,034	96,020	121,610

Niger

month	S<26	S<27	S<28	S<29	S<30	S<31	S<32
January	10,769	32,324	49,713	78,944	106,061	163,530	235,169
February	NaN	NaN	1,036	12,787	36,752	82,367	153,557
March	NaN	NaN	1,162	21,435	60,529	108,285	171,021
April	3,555	13,607	27,058	45,035	73,671	112,397	191,690
May	NaN	NaN	277	6,552	19,805	55,574	123,365
June	NaN	NaN	NaN	NaN	1,012	12,217	46,037
July	NaN	NaN	NaN	6,780	24,068	44,395	70,705
August	NaN	NaN	3,081	12,463	26,516	40,206	61,459
September	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	7,002	25,434
October	NaN	NaN	NaN	3,611	22,420	51,310	107,722
November	47,121	57,682	69,520	93,376	132,405	178,977	227,006
December	61,059	73,833	92,265	112,475	139,339	176,787	255,975

Congo

month	S<26	S<27	S<28	S<29	S<30	S<31	S<32
January	NaN	NaN	NaN	5,647	13,498	34,806	79,966
February	NaN	NaN	NaN	5,636	13,731	44,617	98,303
March	NaN	NaN	638	7,348	20,036	49,706	139,385
April	NaN	NaN	NaN	6,308	12,988	32,447	64,582
May	NaN	NaN	NaN	324	6,158	15,920	34,343
June	NaN	NaN	NaN	NaN	988	7,227	18,391
July	NaN	NaN	NaN	NaN	988	6,600	14,009
August	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	6,600	15,116
September	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	5,456	15,661



续前表 Congo

October	NaN	NaN	NaN	NaN	1,046	10,095	24,780
November	NaN	NaN	638	3,610	8,074	19,432	40,860
December	NaN	NaN	NaN	6,098	11,988	26,282	66,346

St.Lawrence

month	S<30	S<31	S<32
January	24,065	99,132	410,974
February	15,221	75,253	350,844
March	15,696	72,516	346,409
April	29,296	111,409	378,521
May	71,288	157,522	404,914
June	100,842	267,873	571,087
July	127,938	290,379	462,855
August	NaN	322,437	NaN
September	NaN	316,461	NaN
October	NaN	240,819	NaN
November	NaN	173,038	NaN
December	35,704	135,676	471,560

Mississippi

month	S<30	S<31
January	19,364	24,199
February	18,354	31,155
March	27,800	42,154
April	32,259	48,353
May	45,994	82,701
June	69,600	98,582
July	75,686	106,166
August	45,989	74,154
September	7,413	21,601
October	4,595	10,365
November	6,052	13,811
December	9,284	18,423

Changjiang

month	S<30	S<30.5
January	70,915	92,898
February	73,279	85,797



续前表 Changjiang

March	73,195	95,442
April	69,839	80,137
May	87,620	119,262
June	107,898	148,058
July	133,983	186,361
August	126,696	177,402
September	102,373	134,142
October	107,415	132,280
November	95,876	123,128
December	94,555	115,795

Amur

month	S<30	S<30.5
January	20,236	57,139
February	38,501	51,265
March	NaN	NaN
April	NaN	NaN
May	57,848	67,291
June	81,137	99,200
July	114,623	131,654
August	61,357	83,937
September	61,486	74,830
October	63,072	72,530
November	42,679	47,450
December	5,339	33,183

Pearl River (Zhujiang)

month	S<30
January	NaN
February	1,202
March	1,369
April	5,450
May	NaN
June	25,968
July	48,600
August	10,767
September	10,820



续前表 Pearl River (Zhujiang)

October	7,410
November	NaN
December	NaN

Columbia

month	S<30
January	5,243
February	7,670
March	3,868
April	7,319
May	14,673
June	19,805
July	10,401
August	NaN
September	NaN
October	NaN
November	NaN
December	1,024

Kuskowim

month	S<30
January	NaN
February	NaN
March	NaN
April	NaN
May	NaN
June	NaN
July	NaN
August	6,717
September	9,467
October	807
November	NaN
December	NaN

Yukon

month	S<30
January	15,903
February	17,604



续前表 Yukon

March	7,405
April	NaN
May	17,775
June	54,517
July	63,899
August	68,384
September	67,857
October	66,403
November	46,560
December	16,118

Kobuk

month	S<30
January	1,054
February	NaN
March	NaN
April	NaN
May	NaN
June	4,557
July	12,650
August	15,005
September	14,065
October	12,124
November	10,474
December	13,800

Yenisey and OB

month	S<26	S<27	S<28
January	208,241	267,544	352,060
February	278,848	358,023	341,853
March	223,575	280,450	330,014
April	37,119	155,029	190,119
May	NaN	22,981	42,157
June	120,102	170,400	205,281
July	265,263	294,689	322,482
August	324,882	398,014	452,756
September	286,843	331,380	372,508
October	167,198	196,831	247,234



续前表 Yenisey and OB

November	144,373	166,500	203,466
December	162,148	169,570	230,924

Kolyma and Lena

month	S<26	S<27	S<28
January	855,101	1,006,464	1,188,265
February	869,218	1,014,376	1,226,823
March	840,783	962,063	1,208,145
April	460,819	613,428	815,028
May	22,981	22,981	933,242
June	1,462,112	1,610,468	1,788,806
July	1,538,443	1,661,479	1,906,838
August	1,271,199	1,399,879	1,697,063
September	883,758	1,059,514	1,247,876
October	1,033,017	1,239,883	1,394,080
November	1,095,237	1,266,096	1,540,275
December	906,759	1,096,074	1,299,543

Mackenzie

month	S<26	S<27	S<28
January	63,978	72,335	82,452
February	58,493	61,388	73,411
March	57,924	64,122	76,210
April	1,346	1,461	10,923
May	NaN	NaN	11,244
June	234,104	322,862	617,645
July	437,872	573,929	1,568,739
August	364,641	435,699	623,846
September	96,006	261,055	355,663
October	79,686	103,246	234,064
November	127,643	162,532	233,417
December	108,153	125,897	167,561

Ganges and Brahmaputra

month	S<30	S<31	S<32
January	153,241	251,673	305,628
February	52,361	125,165	222,781
March	20,183	38,300	109,060
April	17,026	30,857	66,235



续前表 Ganges and Brahmaputra

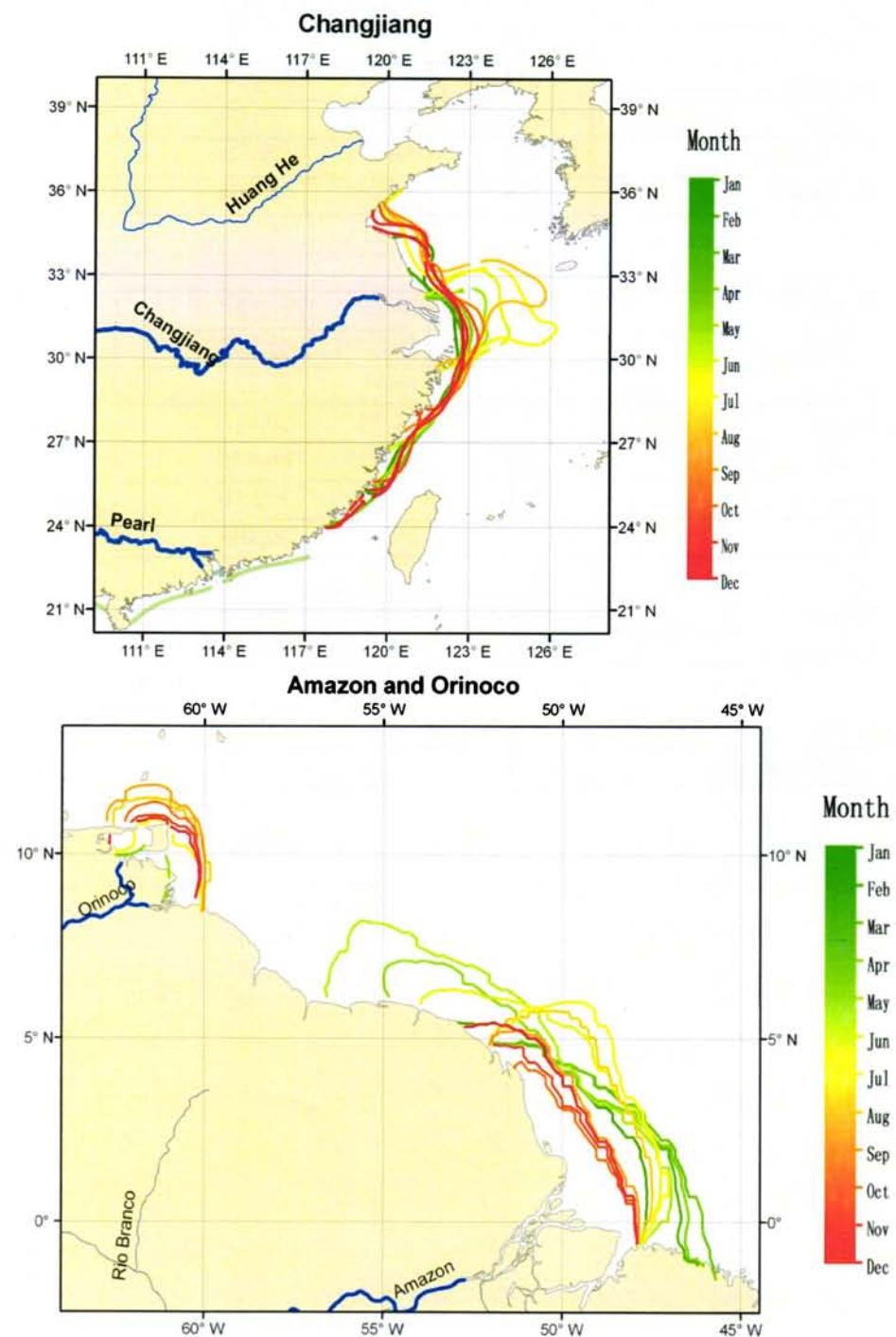
May	19,354	37,688	76,507
June	3,364	78,559	240,828
July	108,937	164,448	323,021
August	421,218	529,599	711,257
September	475,864	607,662	838,492
October	501,246	642,838	793,456
November	395,613	546,372	896,328
December	305,924	489,044	957,628

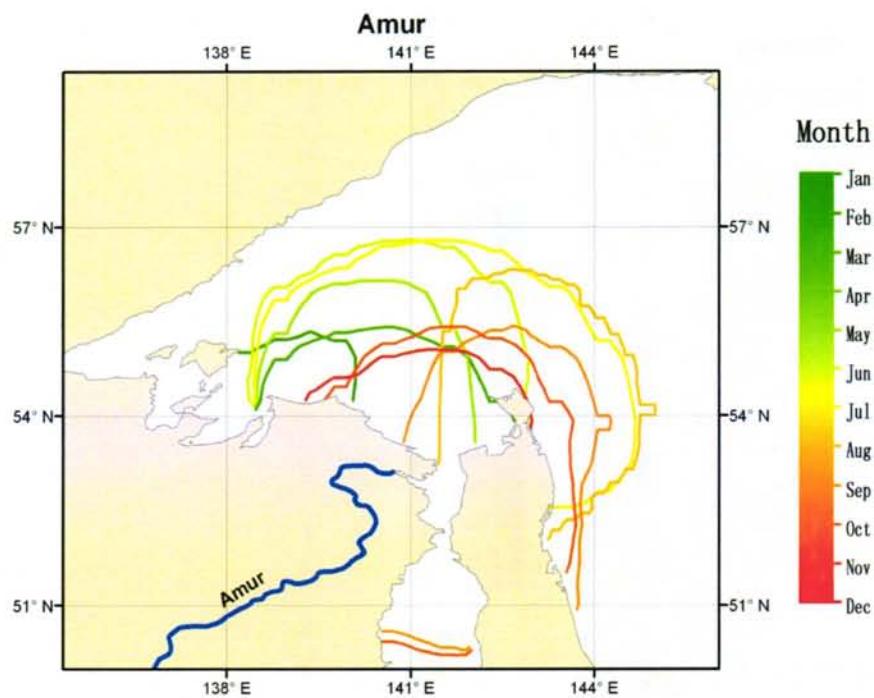
Irrawaddy and Salween

month	S<30	S<31	S<32
January	42,206	107,091	437,521
February	NaN	NaN	51,333
March	3,928	21,281	50,611
April	29,280	46,425	86,445
May	14,743	38,870	102,107
June	NaN	NaN	39,190
July	NaN	2,858	71,064
August	15,991	60,875	241,452
September	50,541	145,852	244,033
October	86,585	144,890	223,192
November	32,408	72,033	370,886
December	37,969	52,234	420,180

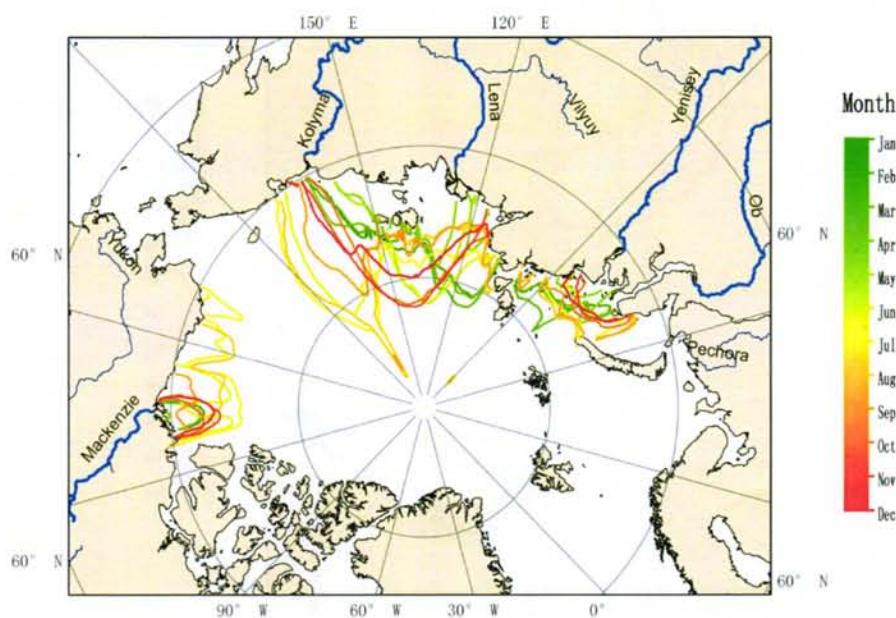


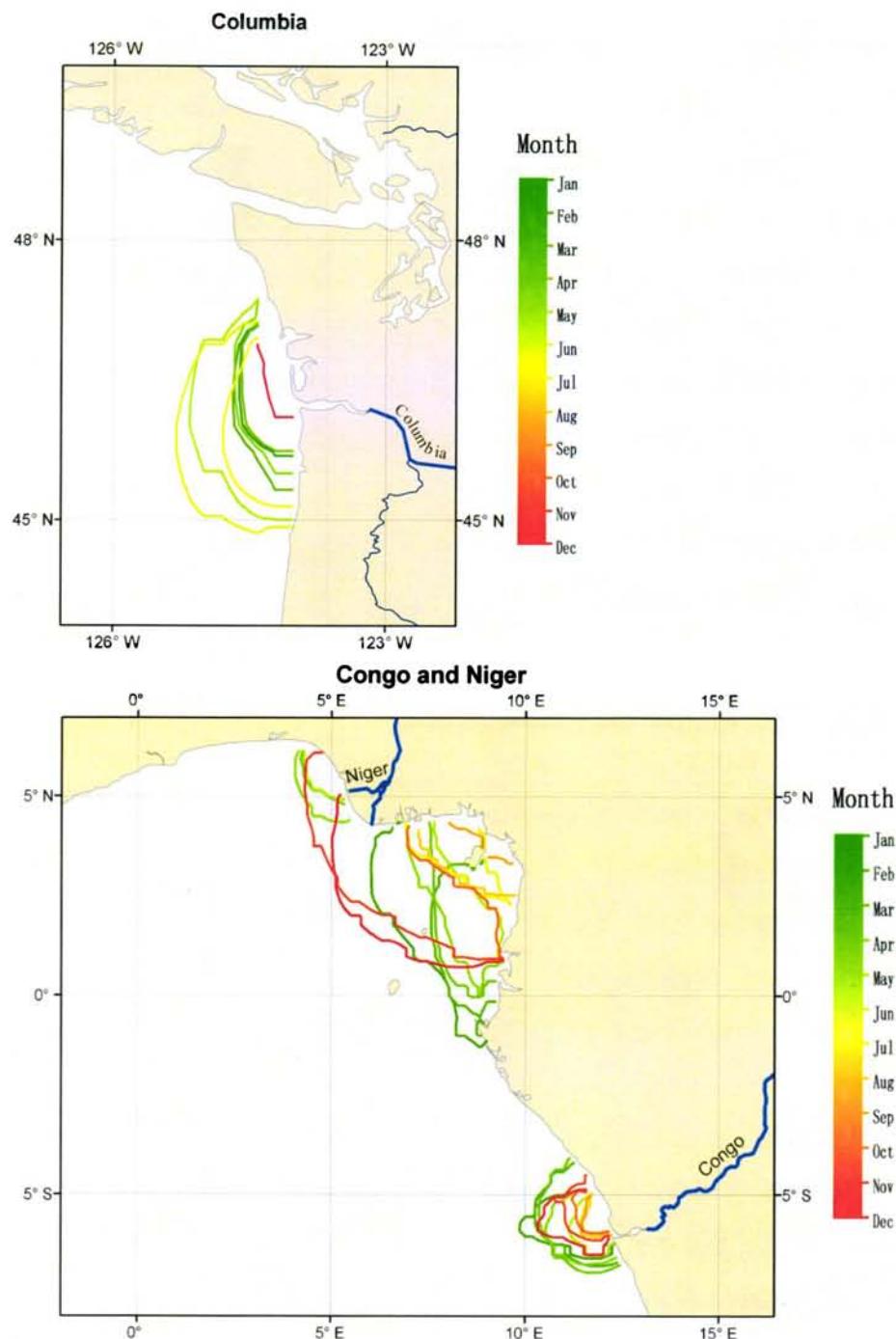
附图 1 大河冲淡水区域的月平均变化图

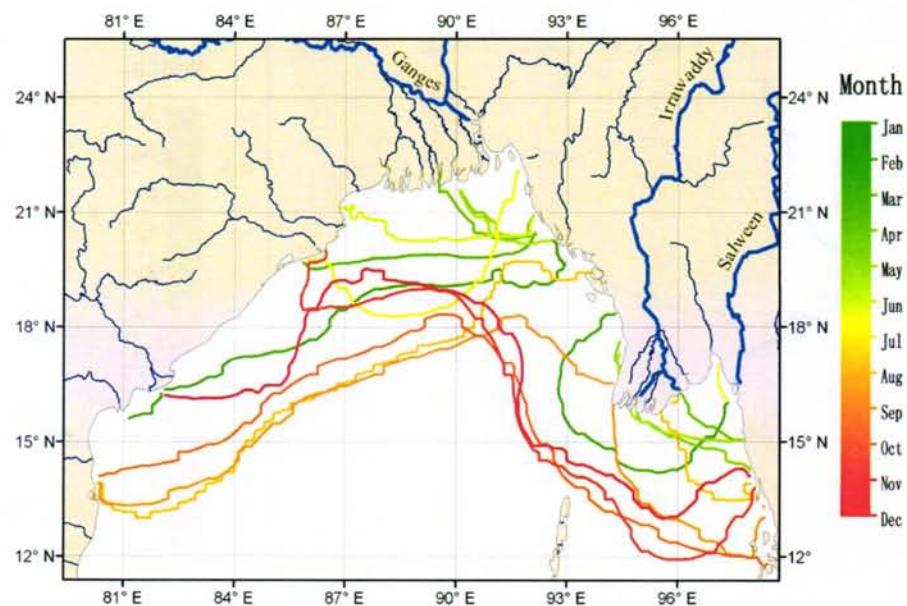
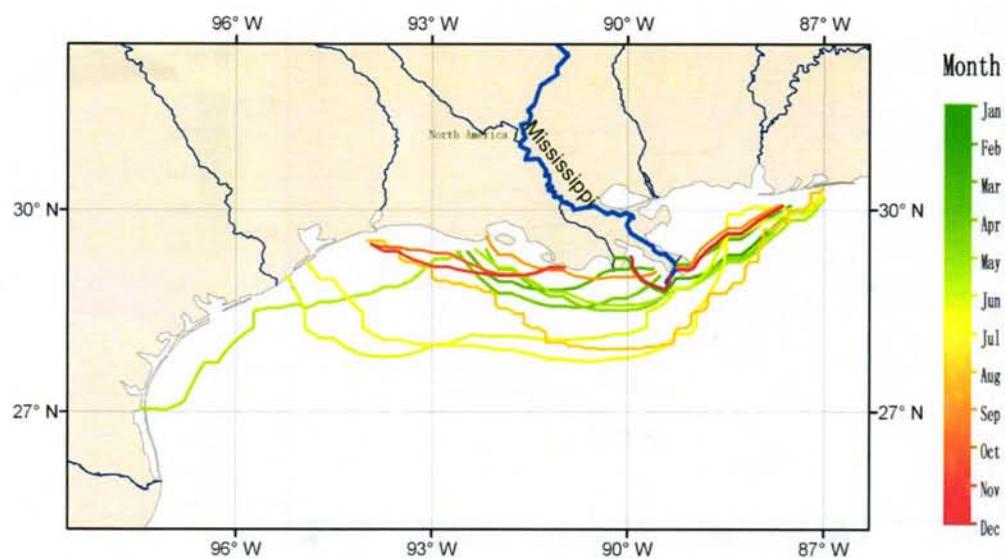


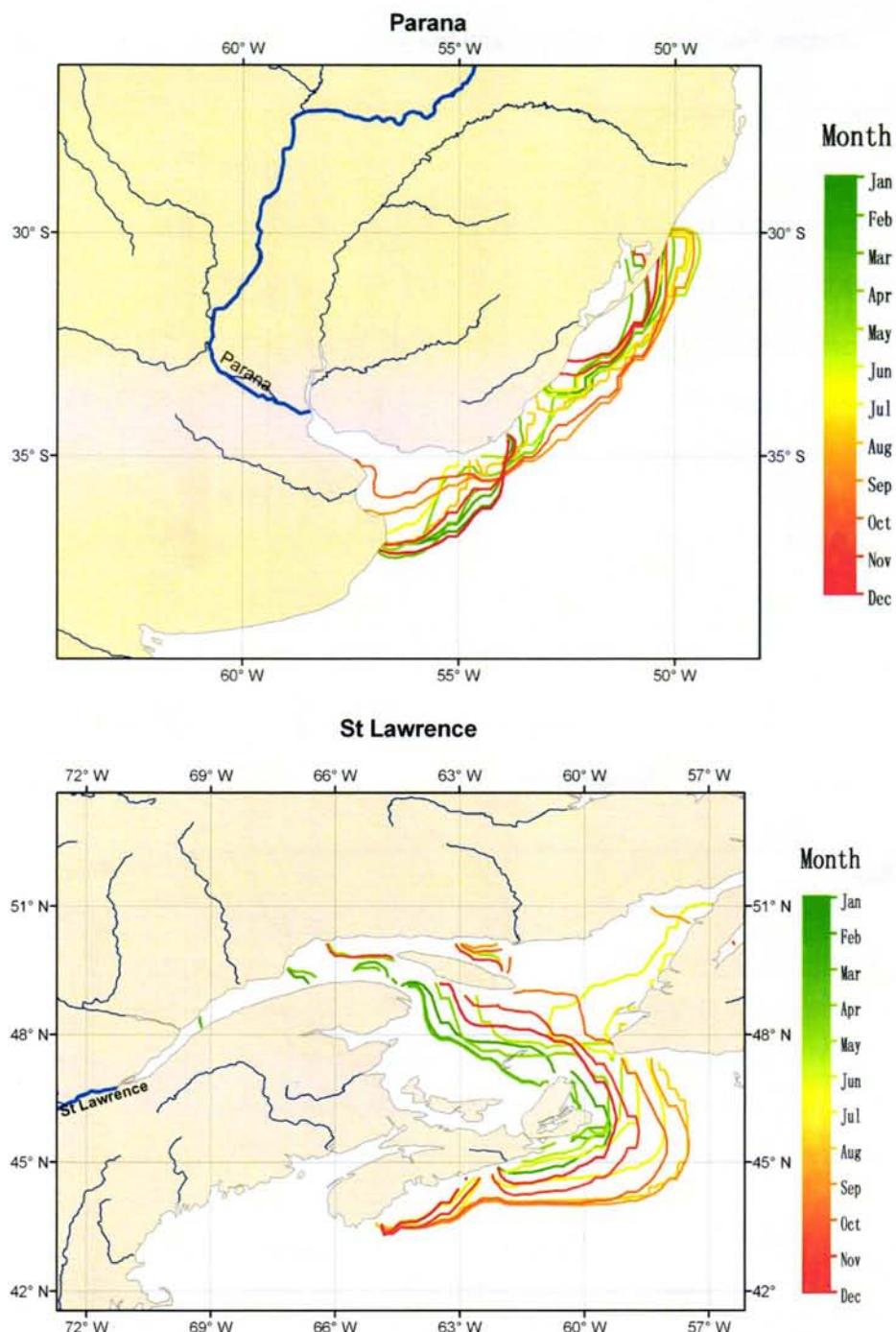


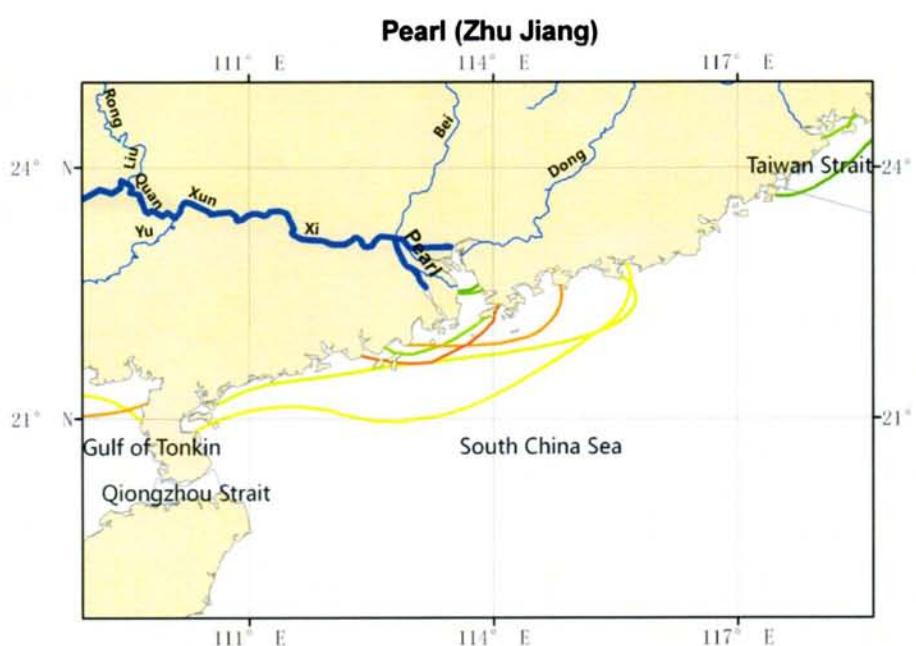
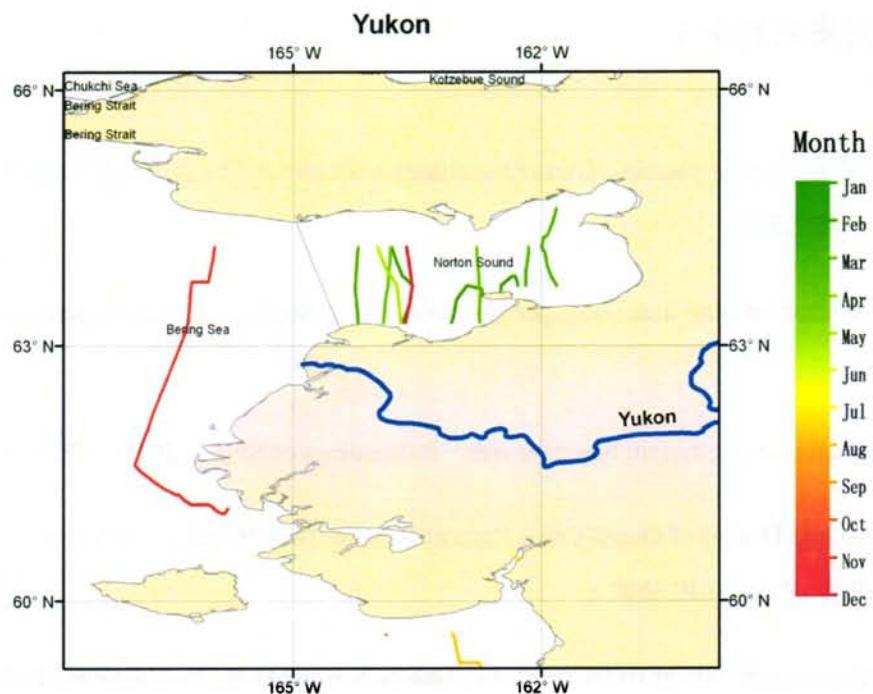
Yenisey, Ob, Kolyma, Lena and Mackenzie





**Ganges, Brahmaputra, Salween and Irrawaddy****Mississippi**





攻读博士期间发表的论文

Areas of the global major river plumes, 《Acta Oceanologica Sinica》2012 (SCI 检索) (录用,
计划 2013 年第一期发表)

Visualization of oceanic satellite data using google earth, 《Geo-Spatial Information Science》
2012 (已录用)

A oceanic satellite data service system based on web, Proceedings of SPIE, 2011 (EI 检索)

Metadata Research and Design of Ocean Color Remote Sensing Data Based on Web Service,
Proceedings of SPIE, 2010 (EI 检索)

The Integrated Management System of Ocean Color Remote Sensing Data, Proceedings of SPIE,
2009 (EI 检索)