引文格式：张增健, 耿姗姗, 徐珊珊, 等. 基于GIS海洋环境统计分析系统设计与实现[J]. 地理空间信息, 2023, 21(4): 130-133. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2023.04.033

基于GIS海洋环境统计分析系统设计与实现

张增健[1]，耿姗姗[1]，徐珊珊[1*]，董明媚[1]，宋　晓[1]，范振华[1]
（1. 国家海洋信息中心，天津 300171）

摘　要：介绍了海洋环境统计分析系统的设计与实现，从系统架构设计、数据库设计、系统主要功能角度描述了基于海洋环境综合数据库的海洋环境统计分析系统的设计与主要功能。系统基于B/S架构和GIS技术，采用Java语言进行开发，实现了海洋环境水文气象要素横向上的覆盖，同时也实现了海洋环境水文气象要素从统计分析到气候变化分析，到现象分析纵向上的探索。系统实现了各级产品多种形式的GIS空间化，形成了制作统计分析与客观分析的散点图、填色图、等值线图、玫瑰图、流矢量图、台风路径图等产品的GIS制作能力，将为我国的海洋防灾减灾、生态文明建设、海洋经济、海洋军事等领域提供基础产品支撑。

关键词：海洋环境统计分析；GIS系统；海洋信息产品
中图分类号：P208　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2023）04-0130-04

Design and Realization of Statistical Analysis System of Marine Environment Based on GIS

ZHANG Zengjian[1], GEN Shanshan[1], XU Shanshan[1], DONG Mingmei[1], SONG Xiao[1], FAN Zhenhua[1]
(1. National Marine Data and Information Service, Tianjin 300171, China)

Abstract: In this paper, we introduced the design and realization of marine environment statistical analysis system. We described the design and main functions of the marine environment statistical analysis system based on the comprehensive database of marine environment from the system architecture design, database design and main functions. Based on the B/S architecture and GIS technology, this system was developed in Java language, which realized the horizontal coverage of marine environmental hydrological and meteorological elements, and the exploration of marine environmental hydrological and meteorological elements from statistical analysis to climate change analysis and phenomenon analysis. The system realized the GIS spatialization of various forms of products at all levels, and formed a geographic information system for making statistical analysis and objective analysis of scatter plots, coloring maps, contour maps, rose maps, flow vector diagrams, typhoon path maps and other products, which could provide basic product support for China's marine disaster prevention and mitigation, ecological civilization construction, marine economy, marine military and other fields.

Key words: marine environment statistical analysis, GIS, ocean information product

随着海洋科技的不断发展，人们对海洋防灾减灾、海洋生态文明、海洋经济、海洋军事保障和海洋权益等问题的认识也在不断深入，世界各国在海洋环境的观测调查等方面的综合资源投入在不断增加[1-8]，由此而带来海洋环境观测数据的积累量呈现出指数级增长的趋势[9-11]。这些海量海洋观测与调查数据资料的不断积累为人们研究、理解和管控海洋提供了更为精细化的数据源支持。

事实证明，海洋环境统计分析产品有着巨大的需求和前景。近年来，国家海洋信息中心收集了国内外观测、调查等众多来源的数据资料，并进行了严格的质量控制与整合，形成了海洋环境综合数据集和海洋环境综合数据库，以此为基础，国家海洋信息中心启动了海洋环境统计分析业务化系统的建设，该系统采用B/S架构，基于网络GIS技术，初步实现了海洋气象、水文大面数据以及海洋观测站点海洋环境数据的业务化统计分析功能[12-13]。

1　系统设计

1.1　架构设计

海洋环境统计分析业务化系统结合业务化应用的实际需求，以系统的准确性、可扩展性、稳定性、高

收稿日期：2021-10-28；修回日期：2022-11-02。
项目来源：国家重点研发计划项目（SQ2018YFC140066）。
第一作者简介：张增健（1981—），硕士，研究方向为应用海洋学，E-mail：zengjian1016@163.com。
通信作者：徐珊珊（1985—），硕士，高级工程师，主要从事应用海洋学研究，E-mail：xss_nmdis@xxx.com。

效性、开放性、模块的重用性和界面友好为准则进行设计。从整体上划分，系统分为基础设施层、数据库层、计算模块层、整合系统层和服务层这五个层次。

1）基础设施层。基础设施层由系统的硬件设施和软件环境这两部分组成。硬件设施为应用开发和系统运行提供了计算机系统环境，包括保障系统运行的服务器、存储设备、网络设备、安全设备和计算机等；软件环境搭建于硬件设施之上，为应用系统提供了开发、测试、运行的软件环境支撑，包括操作系统、数据库系统管理软件、存储管理软件、任务调度平台、中间件等。

2）数据库层。数据库层是用于实现系统数据源的输入及产品的存储，由海洋环境综合数据库构成，包括海洋水文数据库、海洋气象数据库、统计分析产品库、地理信息库及相应的元数据库等。

3）计算模块层。计算模块层是海洋环境统计分析系统的核心，该层用于实现海洋环境综合数据库中各类数据的统计分析计算，包括常规统计模块、客观分析模块、海洋现象分析模块和气候变化分析模块等。

4）整合系统层。整合系统层通过将计算模块层的组件进行汇集与整合，最后集成到统一界面，形成流程化的统计分析系统，包括大面水文统计分析系统、大面气象统计分析系统、固定站统计分析系统、定期统计分析系统、气候变化统计分析系统、海洋现象统计分析系统，基于这些统计分析系统的各类各级产品，建立了GIS产品制作系统和GIS产品管理应用系统。

5）服务层。该系统基于B/S架构建设，可以通过IE浏览器为最广大的用户群体提供分类分级服务和辅助决策支撑。可服务的产品形式多样，包括文本文件、GIS可视化产品、图形产品等；可服务的领域广阔，包括教育、科研、防灾减灾、海洋管理、政府决策等；可服务的用户群体广泛，包括各教育系统的工作人员、各科研院所的研究人员、海洋预警报业务人员、海洋管理人员和各级政府决策部门的工作人员等。

1.2　数据库设计

海洋环境统计分析业务化系统基于海洋环境综合数据库建设，根据统计分析的流程，在综合数据库基础上建立数据清洗库、统计分析库与定期分析库、客观分析库、气候变化与海洋现象库和GIS产品库这5个层级的数据库，如图1所示。

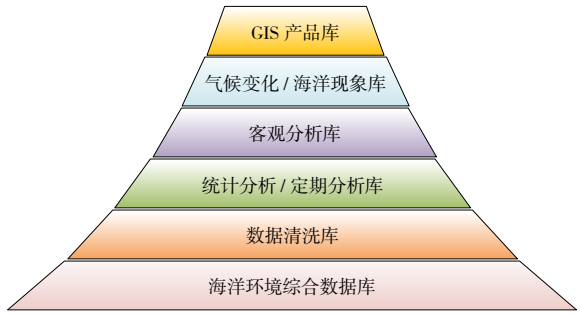


图1　海洋环境统计分析业务化系统数据库架构图

1）数据清洗库。用户设定的时空范围、阈值范围、方差范围等信息，从海洋环境综合数据库中提取所需的海洋水文、气象、固定站等海洋基础数据，将其存储到临时性的数据清洗库，供用户进一步统计分析使用。

2）统计分析与定期分析库。统计分析库与定期分析库用于存储用户利用各统计分析应用系统制作的常规统计分析结果，包括大面水文统计分析产品、大面气象统计分析产品、固定站统计分析产品和定期统计分析产品等。

3）客观分析库。客观分析库用于存储大面水文和大面气象客观分析产品，这些客观分析产品是基于统计分析结果，利用Levitus与最优插值等客观分析方法，制作而成的。

4）气候变化与海洋现象库。气候变化与海洋现象库用于存储用户利用气候变化统计分析系统和海洋现象统计分析系统制作的气候变化产品和海洋现象产品。

5）GIS产品库。GIS产品库用于存储海洋环境统计分析系统在各流程中制作的统计分析产品的GIS空间化产品，包括格点、等值线、等值面、涡旋区域等。

2　系统主要功能

海洋环境统计分析系统的主要功能包括大面水文统计分析、大面气象统计分析、固定站统计分析、定期统计分析、气候变化统计分析、海洋现象统计分析、GIS产品制作和GIS产品管理应用等。

2.1　大面水文统计分析

大面水文统计分析是以海洋水文数据作为数据源，根据海洋大面水文历史观测资料的站点分布、年代、时次、层次和数据量等现状，实现温度、盐度、密度、声速、水色、透明度、海流、海浪和海平面等要素的统计分析与客观分析。

统计分析的时间分辨率为逐年、累年逐季/逐月和

历年逐季/逐月，空间分辨率为10°×10°、5°×5°、2°×2°、1°×1°、0.5°×0.5°和0.25°×0.25°等，垂向为102层。

统计的字段包括常规统计字段和特征值统计字段，常规统计字段包括要素的平均值、最大值、最小值、中位值、站次数和标准差等。特征值统计字段包括要素的频率与周期的统计等。采用的客观分析方法包括Levitus逐步订正法和最优插值法。

2.2 大面气象统计分析

大面气象统计分析是以海洋气象数据作为数据源，根据海洋大面气象历史观测资料的站点分布、年代、时次和数据量等现状，实现气温、气压、湿度、风、海气温差、云量、能见度、雾、雷暴、降水、热带气旋、通量等要素的统计分析与客观分析。

统计分析的时间分辨率为逐年、累年逐季/逐月/逐旬/逐候和历年逐季/逐月/逐旬/逐候，空间分辨率与大面水文统计分析相同。

统计的字段常规统计字段和特征值统计字段，常规统计字段包括要素的平均值、最大值、最小值、中位值、站次数和标准差等。特征值统计字段包括周期、频率等的统计。

2.3 固定站统计分析

固定站统计分析是以海洋站、浮标、潜标等数据作为数据源，根据固定站历史观测资料的站点分布、年代、时次和数据量等现状，实现固定站气温、气温日较差、气压、湿度、降水、能见度、雾、水温、盐度、海浪、海流和水位等要素的统计分析。

统计分析的时间分辨率为逐年、累年逐季/逐月/逐旬/逐候/逐日和历年逐季/逐月/逐旬/逐候/逐日。

统计的字段常规统计字段和特征值统计字段，常规统计字段包括要素的平均值、最大值和最小值等。特征值统计字段包括周期、频率等的统计，主要包括风玫瑰、潮汐特征值、潮汐调和分析等特征值的统计。

2.4 定期统计分析

定期统计分析是以海洋站、浮标等实时数据作为数据源，实现固定站实时气温、气压、湿度、降水、能见度、雾、水温、盐度、海浪和水位等要素的定期统计分析。其统计分析功能根据用户要求，设定为定时触发，自动完成。

2.5 气候变化统计分析

气候变化统计分析以大面水文统计分析、大面气象统计分析、固定站统计分析的统计分析结果为数据源，实现单站（单方区）要素的年际变化趋势分析、年代际变化趋势分析、周期特征分析、时空变化特征分析和多要素相关性分析等。所生成的产品通过分析结果数据集、分析结果曲线图和等值线图的形式进行展示，便于用户对结果的直接使用和二次利用。

2.6 海洋现象统计分析

海洋现象统计分析以大面水文统计分析和大面气象统计分析产品和实测数据为数据源，实现海洋锋、跃层、混合层、涡旋和潮汐潮流等海洋现象的分析。

2.7 GIS产品制作

GIS产品制作功能内嵌于海洋环境统计分析的各个模块之间，通过对统计分析产品进行加工处理，实现了站位点散点图、统计分析与客观分析等区块填色图、等值线图、玫瑰图、流矢量与风矢量等矢量图和台风路径图等图形产品的GIS制作和绘制。各类图形遵循国标，便于用户进行图形的直接导出、使用和GIS产品的再加工使用。

2.8 GIS产品管理应用

GIS产品管理应用功能用于实现各类GIS产品的渲染与可视化、缩放、叠加和导出等功能。该功能的主要目的是实现海洋环境统计分析产品的跨学科、跨要素综合展示，实现多种类型图形的叠加。例如实现气温场（气压场）与风场的叠加、温度场与海流的叠加等。该功能使要素之间的关联分析成为现实，为寻找要素变化的相关因素提供了依据。

3 特色与创新

相较于WOA统计分析产品，海洋环境统计分析系统对数据质量与中间结果控制得更严格，所涉及的要素更多，所能制作的产品更多，产品的形式更多样化，产品的应用价值领域更广。

海洋环境统计分析系统基于海洋环境综合数据库，采用的人机交互编辑方式，解决了孤立值对整体结果的影响，加强了统计分析中间结果的质量控制，在统计分析、客观分析结果的基础上进一步延伸，开发了气候变化和海洋现象分析模块，系统实现了csv、Excel、shp、图片等多格式产品的一体化生产，其生产的shapefile格式统计格点和等值线等产品，在与其他专业和领域进行交叉、融合使用时优势巨大。

3.1 统计分析中间结果的质量控制人机交互流程的设计

海洋环境统计分析系统在数据清洗、均值统计、客观分析等各个阶段均进行了人机交互流程设计，使用户基于各步骤结果的GIS可视化进行孤立值的判

断、标记、删除操作，使每个步骤的结果因为孤立值、异常值的影响降低到最小，以取得更科学、更合理的统计分析结果。

3.2　统计分析结果的延伸分析

相对于WOA等常规统计分析产品，海洋环境统计分析系统对海洋大面和海洋站的统计分析结果进行了进一步的延伸分析，包括气候变化分析和海洋现象分析，形成了特定的年际、年代际等气候变化分析产品和海洋锋、涡旋等海洋现象分析产品。这种延伸分析，使产品的应用更具有针对性，针对特定用户、特定用途，提供针对性产品，提高用户的使用效率。

3.3　统计分析产品的GIS化

相对于WOA等常规统计分析产品，海洋环境统计分析系统对所形成的站位散点图、统计分析与客观分析等区块填色图、等值线图、玫瑰图、流矢量与风矢量等矢量图和台风路径图等图形产品进行了GIS空间化，形成了GIS通用的shapefile格式的点、线、面图层。这些通用GIS产品的制作比原先的数据库表、统计分析文本文件的应用面更广，能够为生态文明、海洋管理及国土资源管控等多个领域提供信息产品共享服务支撑[14]。

4　存在问题与结论

现有的Google Chrome等浏览器能够良好地实现对WebGIS的支持，有效地展示地图，方便用户进行查看、浏览、查询等操作。这种展示对成品地图尤其是切片好的地图具有很高的效率，但对于海洋环境统计分析系统这种实时生成的地图的支撑有时会有局限。例如在即时加载全球高分辨率风玫瑰图时，其反应速度会显著变慢，操作效率会明显降低，进一步影响用户在界面上的缩放操作，影响用户体验。

海洋环境统计分析系统建设充分发挥国家海洋信息中心综合数据库数据量大、学科与要素齐全的优势，采用规范的海洋统计分析方法，借鉴多年图集与统计分析产品制作经验，基于B/S架构和GIS技术，利用Java语言开发完成，实现了海洋环境数据“数据清滤→统计分析→客观分析→气候变化分析→海洋现象分析”的链条式产品制作，实现了海洋环境业务化产品的GIS可视化与管理，能够生成多层级的海洋环境统计分析产品包括常规统计分析产品、定期分析产品、客观分析产品、潮汐调和分析产品、气候变化分析产品、海洋现象分析产品和GIS可视化产品等。这些产品以GIS格式的散点图、填色图、等值线图、玫瑰图、流矢量图、台风路径图展现在用户面前，供用户进行下载和使用，将改变以数据库表和文本格式数据来进行数据共享服务的现状，使产品以更加直观，更加易读的形式呈现在多学科、多领域用户面前，为更多的科研工作者使用海洋数据和产品提供便利。

随着国家海洋数据共享服务力度的加大，海洋环境统计分析系统的推广与使用，可以为海洋防灾减灾提供定期分析产品参考，为海洋生态和海洋能源与资源开发等提供海洋环境背景场产品支持，为海洋工程建设提供水位和海浪统计分析产品支撑，为海洋军事保障提供海洋锋、跃层和混合层等产品服务。

参考文献

[1] 林小刚,齐义泉,程旭华,等. 3~5月份东印度洋上层水文要素特征分析[J]. 热带海洋学报,2014,33(3):1-9

[2] Huang R X. Energetics of Lateral Eddy Diffusion Advection: Part I. Thermodynamics and Energetics of Vertical Eddy Diffusion[J]. Acta Oceanol. Sin,2014,33(3):1-18

[3] 刘建斌,张永刚. 阿尔沃兰海海洋锋时空气候变化特征[J]. 海洋预报,2016,33(1):37-44

[4] 刘鹏,张永刚,刘建斌. 阿拉伯上升流温度锋面时空分布特征分析[J]. 海洋技术学报,2016,36 (3):13-17

[5] 方长芳,修义瑞,张学宏,等. 东北亚海温度盐度主要特征研究[J]. 海洋测绘,2019,39(6):73-78

[6] 张旭,张永刚,张健雪,等. 海洋混合层结构对表面声道中声传播特性的影响分析[J]. 海洋学报,2012,34(1):79-89

[7] 党振中,周立佳,刘建斌,等. 基于WOA13数据的东海黑潮主轴温度锋特征分析[J]. 海洋技术学报,2016,35(4):26-30

[8] 孙龙,李希彬,余军浩,等. 西北太平洋ENSO年地转流特征分析[J]. 海洋预报,2008,25(3):86-92

[9] 刘奇奇,范植松,胡瑞金,等. 北太平洋中层水模拟的改进[J]. 中国海洋大学学报,2016,46(10):1-9

[10] 马强,汪嘉宁,王凡. 六套海洋模式模拟热带西太平洋深层环流结果的对比分析[J]. 海洋与湖沼,2017,48(6):1 302-1 317

[11] 黄孝荣,王强,周伟东,等. 南海东沙海区冬季跨陆坡运动的动力诊断分析[J]. 热带海洋学报,2016,35(6):1-9

[12] 蒋涛,王正涛,金涛勇,等. GRACE时变重力场位系数相关误差的滤波消除技术[J]. 武汉大学学报(信息科学版),2009,34 (12):1 407-1 414

[13] 路泽廷,朱江,韩君,等. 最新SMOS卫星海表盐度L3/4级产品的误差分析[J]. 海洋通报,2015,34(4):428-439

[14] 张峰,李四海. 海洋信息资源目录服务系统设计初步研究[J]. 地理空间信息,2008,6(6):81-84