

• 研究报告 •

# 海洋污损生物数据管理系统的设计与构建

冯 华<sup>1</sup> 曹文浩<sup>2,3</sup> 田晓阳<sup>1</sup> 程志强<sup>2</sup> 严 涛<sup>2,3\*</sup><sup>1</sup> (广州大学计算机科学与教育软件学院, 广州 510006)<sup>2</sup> (中国科学院南海海洋研究所热带海洋生物资源与生态重点实验室, 广州 510301)<sup>3</sup> (中国科学院海洋环境腐蚀与生物污损重点实验室, 山东青岛 266071)

**摘要:** 固着或栖息在船舶和人工设施水下部位的海洋污损生物, 会对人们的涉海活动产生不利影响, 其群落的形成和发展过程与温度、盐度、深度、季节、海域、浸海时间、离岸距离和附着基类型等多种因素密切相关。为便于系统分析和综合处理各海区污损生物资料, 理清各要素之间的内在关系, 需要一个能将上述因子与生物群落参数有机地结合起来的数据平台, 将分散、零星的资料予以归纳整合并通过网络共享, 以更好地为生产实践和科学研究服务。本研究采用Internet技术, 应用ASP.NET框架和MySQL数据库, 使用MS Visual Studio 2013设计并开发了服务端部署在Windows 7或Windows Server 2008 R2 (推荐)操作系统上的海洋污损生物数据管理系统, 实现了基于网络的海洋污损生物数据集成、储存与管理, 可完成来源不同、时相变化和海区多样的污损生物数据资料的集成与储存, 能通过单一或多种组合条件进行查询和检索, 并可根据用户的需要导出多种格式的检索结果报表。该系统具备操作简便、方便网络共享、易于升级更新和开拓新功能等特点, 能有效满足科研、生产和管理部门的需要。

**关键词:** 污损生物; 数据库; 分类; 生态; 生物地理

## Design and development of a data management system for marine fouling organisms

Hua Feng<sup>1</sup>, Wenhao Cao<sup>2,3</sup>, Xiaoyang Tian<sup>1</sup>, Zhiqiang Cheng<sup>2</sup>, Tao Yan<sup>2,3\*</sup><sup>1</sup> School of Computer Science and Education Software, Guangzhou University, Guangzhou 510006<sup>2</sup> Key Laboratory of Tropical Marine Bio-resources and Ecology, South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301<sup>3</sup> Key Laboratory of Marine Environmental Corrosion and Bio-fouling, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao, Shandong 266071

**Abstract:** Biofouling, the unwanted assemblage of marine organisms colonizing submerged parts of ships and artificial facilities, has a negative impact on human activities related to the sea. The development of fouling communities is closely related to a variety of factors such as temperature, salinity, depth, season, immersion time, geographic location, distance from shore and substratum type. To facilitate systematic analysis and processing of data on marine fouling and clarify the intrinsic relationship between the various elements mentioned above, it is necessary to build a technical platform to integrate scattered and sporadic information and to share this data through a network. By means of internet technology, the ASP.NET framework and MySQL database, the MS Visual Studio 2013 software was used to devise a data management system for marine fouling organisms under the Windows 7 or Windows Server 2008 R2 (recommended) operating system. From the system, data integration, storage and management of fouling organisms are implemented via the network. Query and retrieval of data can be conducted under single or multiple search conditions and the results are exported in several formats according to the user's requirements. The data management system for marine fouling organisms provides a useful and effective way to help data analysis and decision-making for research, industry and administration.

收稿日期: 2015-12-07; 接受日期: 2016-06-25

基金项目: 国家自然科学基金(41176102)、广州市科技计划项目(2013J4300046)、湛江市科技计划项目(2013C01022)和中国科学院海洋环境腐蚀与生物污损重点实验室开放课题(MCKF201601)

\* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: yantao@scsio.ac.cn

**Key words:** fouling organisms; database; taxonomy; ecology; biogeography

海洋污损生物是指固着或栖息在船舶和人工设施水下部位, 对人类涉海活动产生不利影响的动物、植物和微生物(Woods Hole Oceanographic Institution, 1952; 黄宗国和蔡如星, 1984), 其危害主要表现在增大舰船行进阻力, 缩短维保间隔周期(Alberte et al, 1992; Schultz et al, 2011); 减少海水管线载流容量和降低流速, 甚至造成堵塞(Venkatesan & Murthy, 2009); 引发局部微环境理化性质变化, 改变材料腐蚀行为(Neville & Hodgkiess, 2000; 杨天笑等, 2013); 增加载荷效应, 影响设施安全(Edyvean et al, 1985; Swift et al, 2006); 覆盖构件表面, 妨碍水下作业(Heaf, 1979; Marine Technology Directorate Limited, 1992); 危害水产养殖生产, 影响海洋养殖业发展(严涛等, 2008; Fittridge et al, 2012)等方面。

海洋污损生物通常来源于邻近和当地海域底栖生物或漂浮性种类(Yan et al, 2009), 其群落的形成和发展与温度、盐度、深度、季节、海域、离岸距离和附着基等多种因素密切相关, 是一个从无到有、从简单到复杂的演变过程(严涛和曹文浩, 2008; 李静等, 2010; Zhang et al, 2015)。正是由于环境因子变化和附着基质特性等多种因素的协同作用和影响(Connell, 2001; Perkol-Finkel et al, 2008; Wilhelmsson & Malm, 2009; 严涛等, 2014), 导致污损生物的群落结构与周边邻近天然礁石的底栖生物群落存在差异(Glasby, 1999; Page et al, 1999)。污损生物的种类组成、数量大小、分布范围、附着特点及季节变化等参数, 是反映海洋环境中生物污损过程的基本要素。

另外, 不同于浮游和底栖生物的生态研究, 海洋污损生物的调查除了直接对船舶和设施水下部位的生物群落进行原位采样外, 还可通过挂板方法探讨特定海域生物污损特点及变化规律(中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局和中国国家标准化管理委员会, 2007a)。因此, 从研究对象、方法和内容等方面来看, 海洋污损生物调查均具有鲜明的专业特色。为了便于系统分析和综合处理各海区污损生物数据, 理清各要素之间的内在关系, 需要一个能将温度、盐度、深度、附着基、浸海时间和

季节等因素与生物群落参数有机地结合起来的数据平台, 以便更好地为生产企业和管理部门提供数据资料, 并为揭示海洋生物污损特点及其群落演替变化规律奠定基础。

在海洋生态科学领域, 数据库开发与应用的研究主要集中于环境监测(顾军等, 2002; 袁骐和沈新强, 2004; 苏天赞等, 2008)、系统分类和生物地理(黄勃等, 1996; Griffiths et al, 2003; 高华等, 2006)及生物多样性(赵斌等, 2000; 乔慧捷等, 2004; 邵广昭等, 2014)等方面, 由于关注重点和服务对象及研究内容等方面的差异, 这些数据库不能满足生物污损这一特定领域的需要。利用现有成熟技术构建功能完善、操作简便、稳定可靠的海洋污损生物数据管理系统, 可将分散、零星的资料予以整合归类并通过网络共享, 从而为管理部门和生产单位的决策提供科学依据, 并可为海洋生态系统的深入研究创造条件, 对生产实践和科学研究均具有重要意义。

## 1 系统分析与设计

### 1.1 系统规划

海洋污损生物数据管理系统将调查站位、深度、采样方式、附着基类型和污损生物种类及数量等要素信息有机地结合起来, 可完成各类来源、多种时相和不同海区的污损生物数据资料的集成与储存, 具备操作简便、方便网络共享、易于升级更新和开拓新功能等特点。

该系统的数据查询模块可按生物种类、站位、深度和采样方式等单一或多种组合条件进行查询, 检索结果既能列表显示, 也可另保存为EXCEL文件。数据的导入和导出可批量化处理, 且能根据不同用户的需求导出多种格式的数据报表。用户管理模块则根据用户角色差异赋予不同权限, 使其获得相应的管理或使用权利。图1显示了该数据管理系统的结构。

### 1.2 系统运行环境及配置

系统采用B/S架构, 服务端可以部署在Windows 7或Windows Server 2008 R2 (推荐)操作系统上, 以MySQL作为后台数据库, 服务端程序和网页设计使用Visual Studio 2013完成, 服务端基于

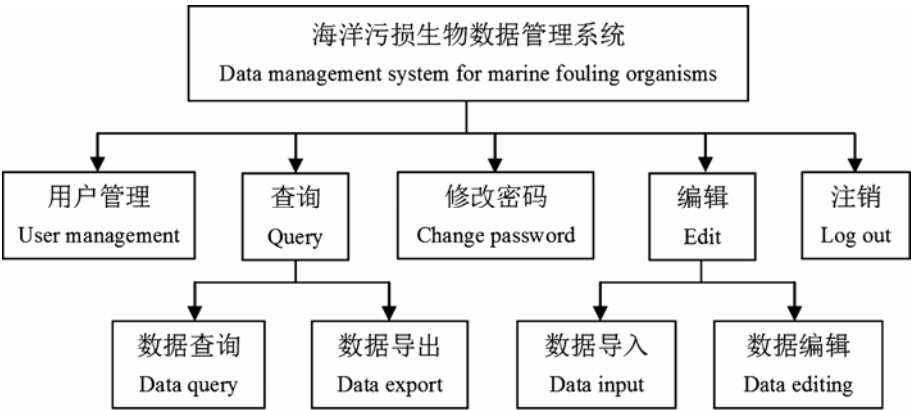


图1 海洋污损生物数据管理系统结构示意图  
Fig. 1 Schematic diagram of the data management system for marine fouling organisms

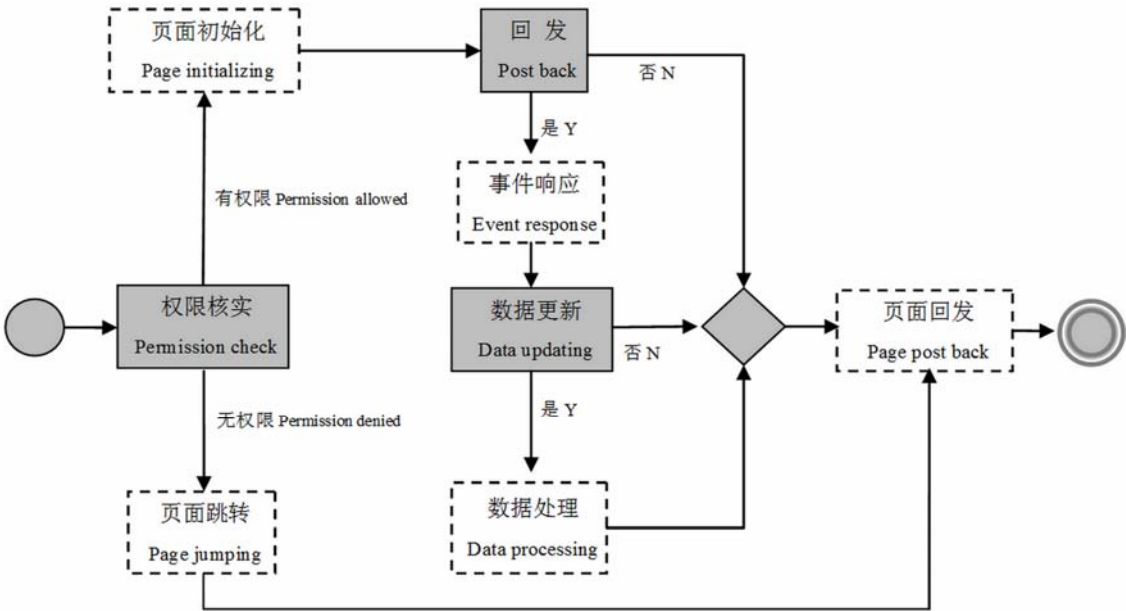


图2 海洋污损生物数据管理系统工作流程示意图  
Fig. 2 Workflow diagram of the data management system for marine fouling organisms

.Net Framework 4.5。使用主流浏览器访问系统。

1.3 系统工作流程

系统采用ASP.NET WebForm模式开发，页面接到请求后对用户请求的处理分为以下几个阶段：权限核实、页面初始化、事件响应、数据更新、数据处理和页面回发(图2)。

2 数据库的建立

2.1 数据来源

各海区海洋污损生物群落参数的来源除了挂板调查外，还可来自浮标、码头、水产养殖器材、

海洋油气平台等人工设施和构筑物原位采样的分析结果(刘勔伶和严涛, 2006)，尤其原位采样是获得长期(多年)污损生物资料的有效途径。另外，为便于调查结果的分析比较，排除人为因素的干扰，确保数据的客观、完整及系统，在调查和分析过程中严格按照国家海洋调查规范(中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局和中国国家标准化管理委员会, 2007a, b, c)开展工作。

2.2 数据分析

数据库的数据由两部分构成，一部分用于管理网站用户(即未授权用户、用户和管理员)所需的各

种系统信息, 诸如用户信息、认证信息、角色和会话等; 另一部分则是该系统所负责管理的数据即海洋污损生物调查资料。

由于ASP.NET具备非常完善的包含网页控件和API类库的“登录”框架(Spaanjaars, 2010), 故海洋污损生物数据库设计应着重于处理站位(地点)、采样方式、浸海时间、离岸距离、温度、盐度、深度、种类组成、附着密度、生物附着量等内容及其之间的关系。另通过预留备注字段窗体来存放关于科、属(或以上层级)生物多样性信息及物种鉴定错误或学名修改的修订记录等方面的扩展信息。

## 2.3 数据库设计

### 2.3.1 实体关系模型

概括地讲, 系统的业务流程就是在指定站位用特定手段采样获得一定的样本。在这个流程中获取的数据即是本系统处理的数据。对数据进行分析后, 可将其划分为调查站位数据、采样方式数据和样本数据。采样方式数据又可划分为试板采样数据和采样点原位采样数据两类, 系统的业务流程实体关系见图3。

需要注意的是, 一个样本实体可以不与任意试板实体存在获得关系, 也可以不与任何采样点存在获得关系, 但必须且只能与其中的一个试板实体或采样点实体存在获得关系。当一个样本实体与试板存在获得关系时, 样本的获得时间属性与试板的采样时间属性一致, 因为试板上的样本必须在试板回收的同时获得。而对于采样点实体而言, 采样时间属性没有任何意义。

### 2.3.2 数据库设计

为简化编程的复杂度, 设计数据库时, 将采样点和试板两个实体用同一张表加以实现, 以更方便地实现“一个样本通过且仅通过一种采样方法获得”的关系约束。采样表中增加了一个枚举属性“采样方式”, 以便区分采样点和试板。当采样方式为采样点时, 采样时间属性也置空值; 相应地, 所有与试板存在获得关系的样本的采样时间属性置空值, 此时该属性仅从与其存在获得关系的采样表获取, 以保证数据一致性。

最终数据库中设计了“站位”、“采样”和“样本”3张数据表: 使用关系通过采样表对站位表的外键约束来实现; 获得关系使用样本表对采样表的外键约

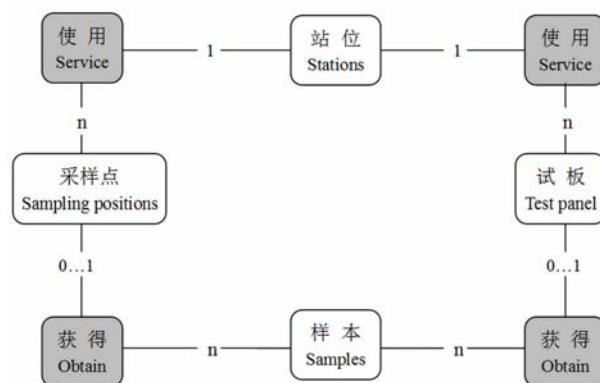


图3 海洋污损生物数据管理系统业务流程实体关系示意图  
Fig. 3 Process entity relationship diagram of the data management system for marine fouling organisms

束实现。而采样表和样本表的“采样时间”属性的一致性, 以及“采样方式”与“浸海时间”属性的一致性, 则在服务端编程时通过程序控制, 不在数据库中实现。最终设计的数据库结构详见表1-3所示。此外, 在那些可能参与筛选的属性上, 建立了必要的索引, 以加快数据查询的速度。

### 2.3.3 对象模型设计

对象关系映射(object relational mapping, ORM)是一种新兴的数据库编程技术(黄丽娟等, 2004; 朱玲和薛贺, 2007)。该技术可将数据库中的一张张数据表映射为面向对象语言可直接访问的对象和对象集合, 从而可在面向对象语言中以面向对象的方式操作数据库进行查询和修改。

比起在程序中嵌入SQL语句操作数据库, 使用ORM映射有如下好处: (1)数据操作程序不再是无法进行语法检查和调试的字符串, 可以由编译器直接进行语法检查; (2)抽象了不同数据库的SQL实现在语法上的差异, 以相同的接口操作不同的数据库; (3)由于传统的拼接字符串生成SQL语句的方式被ORM框架自动生成SQL语句取代, 大大提高了安全性, 杜绝了SQL注入的风险。

具体在服务端程序中, 上述3张数据表(即“站位”表、“采样”表和“样本”表)被直接映射为3个类, 每个类对应一张表。类之间的关系用交集类表示关联, 每个关联对应一张表, 用外键表示这些表之间的关系。3张表之间的外键约束运用关联映射模式映射为3个类的对象之间的引用。

表1 海洋污损生物数据管理系统“站位”表结构  
Table 1 “Stations” form structure of the data management system for marine fouling organisms

字段 Field	类型 Type	说明 Description	备注 Remark
name	字符串 Character string	站位名称 Station's name	用作标识符 Used for identifier
alias	字符串 Character string	站位别名 Station's alias	空值 Null
location	字符串 Character string	站位地点 Station position	
depth	实数 Real number	站位水深 Station depth	
longitude	实数 Real number	站位经度 Longitude	
latitude	实数 Real number	站位纬度 Latitude	
distance	实数 Real number	离岸距离(公里) Distance from shore (km)	
facility	字符串 Character string	设施类型 Type of facility	
settingdate	日期 Date	设施布设时间 Deployment date	
retrievaldate	日期 Date	设施回收时间 Retrieval date	

表2 海洋污损生物数据管理系统“采样”表结构  
Table 2 “Sampling” form structure of the data management system for marine fouling organisms

字段 Field	类型 Type	说明 Description	备注 Remark
id	序号 SN		用作标识符 Used for identifier
oridinal	字符串 Character string	试板编号 Serial number of test panels	“采样点”不用 Not for sampling positions
direction	字符串 Character string	采样方位 Sampling position	“试板”不用 Not for panel tests
s_name	字符串 Character string	调查站位 Investigation station	“站位”的标识符 Station identifier
depth	实数 Real number	采样点深度 Sampling depth	
temperature	实数 Real number	采样点温度 Temperature of sampling point	
salinity	实数 Real number	采样点盐度 Salinity of sampling point	
method	枚举 Enumeration	采样方式 Sampling method	
survey_time	自然数 Natural number	浸海时间(月) Immersion time (Month)	
area	实数 Real number	采样面积 Sampling area (cm <sup>2</sup> )	
thickness	实数 Real number	样品厚度 Fouling thickness	空值 Null
biomass	实数 Real number	总生物量 Total biomass	空值 Null
sv_time	日期 Date	试板回收时间 Retrieval date	“采样点”不用 Not for sampling positions
notices	字符串 Character string	备注 Remarks	空值 Null

表3 海洋污损生物数据管理系统“样本”表结构  
Table 3 “Samples” form structure of the data management system for marine fouling organisms

字段 Field	类型 Type	说明 Description	备注 Remark
sp_id	序号 SN		用作标识符 Used for identifier
s_id	序号 SN		“采样”的标识符 Sampling identifier
snum	字符串 Character string	样本编号 Serial number of samples	
gettime	日期 Date	采样时间 Sampling date	用于“采样点” For sampling positions
name	字符串 Character string	物种名 Species name	
cover	实数 Real number	覆盖面积 Coverage area	空值 Null
density	实数 Real number	密度 Density (ind./m <sup>2</sup> )	空值 Null
wet weight	实数 Real number	湿重 Wet biomass (g/m <sup>2</sup> )	空值 Null
size	实数 Real number	个体大小 Individual size	空值 Null
alive	自然数 Natural number	成活个体数 Number of individuals alive	空值 Null
died	自然数 Natural number	死亡个体数 Number of dead individuals	空值 Null
notices	字符串 Character string	备注 Remarks	空值 Null

表4 用户角色与页面的可访问性及跳转策略的对应关系  
Table 4 The corresponding relationships between the user role and page accessibility and jump strategy

功能 Function	页面 Page	游客 Visitor	未授权用户 Unauthorized user	普通用户 Ordinary user	管理员 Administrator
登录 Login	Login.aspx	可访问 Accessible	跳转到密码修改 Jump to Change Your Password	跳转到数据查询 Jump to Data Query	跳转到数据查询 Jump to Data Query
注册 Registration	SignUp.aspx	可访问 Accessible	跳转到密码修改 Jump to Change Your Password	跳转到数据查询 Jump to Data Query	跳转到数据查询 Jump to Data Query
找回密码 Find your password	PswRecov- ery.aspx	可访问 Accessible	跳转到密码修改 Jump to Change Your Password	跳转到数据查询 Jump to Data Query	跳转到数据查询 Jump to Data Query
数据查询 Data query	Query.aspx	跳转到登录 Jump to Login	跳转到密码修改 Jump to Change Your Password	可访问 Jump to Data Query	可访问 Accessible
数据编辑 Data editing	Edit.aspx	跳转到登录 Jump to Login	跳转到密码修改 Jump to Change Your Password	跳转到数据查询 Jump to Data Query	可访问 Accessible
用户管理 User management	UsersMan- age.aspx	跳转到登录 Jump to Login	跳转到密码修改 Jump to Change Your Password	跳转到数据查询 Jump to Data Query	可访问 Accessible
密码修改 Change your password	ChangePsw.aspx	跳转到登录 Jump to Login	可访问 Accessible	可访问 Accessible	可访问 Accessible



图4 海洋污损生物数据管理系统数据编辑界面  
Fig. 4 Data editing screenshot of the data management system for marine fouling organisms

3 网站设计与实现

系统采用ASP.NET作为开发框架, 设计模式为WebForm, 服务端使用的开发语言为C#. 页面设计采用手工编辑HTML/CSS文档为主, MS Visual Studio 2013为辅的方式, 混合使用层模式和表格模式

进行。服务端编程引用了Entity Framework 6来访问数据库, 软件NPOI 2用来处理和生成Excel文档(兼容xls和xlsx两种格式)。交互方面基于JQuery框架编写了JavaScript脚本用来显示日期选择器和进行文件上传之前的初步文件格式检查。



网站包含了登录、注册、找回密码、数据查询、数据编辑、用户管理、密码修改等7个页面。网站的访问者可分为游客、未授权用户、普通用户、管理员4种角色,其中管理员可以增加、删除、修改用户,对用户分配访问权限,管理数据库,同时也拥有访问、修改和补充数据库的权限;用户可访问和导出数据;未授权用户和游客则无法访问数据。表4列出了用户角色与页面响应方式的对应关系。

#### 4 系统展示与应用

通过网络访问海洋污损生物数据管理系统时,默认是以游客身份进入系统的访问者仅可以执行注册账号、使用已有的账号登录系统和使用验证信息重置密码等操作。成功注册账号后的访问者虽可以按未授权用户的身份登录系统,但登录后仅能访问一项系统功能,即管理自己的密码与验证信息。只有被管理员授权成为普通用户后,才可以查询和导出数据。另外,管理员还可以将普通用户提升为管理员,使其也获得编辑数据(包括增加、删除和修订等方面)和管理其他用户的权限。图4显示了数据编辑操作的界面截图。

对于生物污损现象来说,首先涉及的要素通常为站位、深度和种类组成等3方面,而采样方式也是影响调查结果的关键因素。因此,将“站位”、“采样深度”、“种类名称”或“采样方式”等要素设定为检索条件,通过选择单一或将多种条件组合进行查询检索,即可获得所需信息,并根据要求导出包括温度、盐度、深度、地理位置、离岸距离、采样方式、调查日期、设施类型、浸海时间及污损生物的种类组成、湿重、附着密度、个体大小等参数在内的多种格式检索结果报表,以满足不同用户的需求。例如,选择“站位”这一检索条件,可导出特定调查站位污损生物参数及相关因子;而输入特定深度范围,则可检索出所有海域该水层污损生物资料;至于2种或3种(甚至4种)检索条件的组合,更可将检索结果的范围大大缩小,此时仅导出某种污损生物在某个海域特定深度的附着量、密度及大小等信息。

#### 5 讨论

上述海洋污损生物数据管理系统实现了基于网络的海洋污损生物数据集成、储存与管理,可通过单一或多种组合条件进行查询、检索,并能根据

用户的不同需求导出相应格式的检索结果报表,已能有效满足科研、生产和管理部门的需要。如在此基础上增加多样性指数计算和多元统计分析等模块,进一步完善和发展该数据管理系统功能,将可为海洋生物多样性研究和生态环境监测及保护工作的开展提供更多的便利。

由于仪器设备和工作条件等方面的制约,以往海洋污损生物调查基本没有同步监测水体理化参数,即使采集了温度、盐度等数据也是零散和不连续的,难以很好地将环境与生物之间的关系予以对应。今后除加强基础数据的采集和积累,还需考虑与其他专业数据库资料的兼容与共享,完善和发展海洋污损生物数据管理系统,以期在为经济建设和社会发展服务的前提下,也为揭示海洋生物群落内在作用机制、丰富和发展海洋恢复生态学创造条件。

为了能更好地服务于科研、教育与生产,满足高等院校、科研院所、评估机构和生产单位等多个方面和不同层次的需求,尤其面对缺乏生物分类学知识的终端用户,可考虑进一步拓展该数据管理系统,以增加污损生物形态描述、图像资料和数据溯源追踪等方面的内容。另外,伴随着数据库规模增大,结构日趋复杂,再加上数量日益增多的用户,如何保障数据的完整性、安全性、并发性以及故障恢复的能力,也是下阶段研发工作需要着重关注的问题。

开发海洋污损生物数据管理系统的初衷,是为了构建一个数据储存、处理、检索和查询的专业平台,方便相关研究团队的科研人员进行分析和探讨,并为项目合作单位之间的数据集成与交流提供便利,故该数据库的原设计理念主要着眼于海洋污损生物这一特定领域。资料整合与共享并与国际接轨是生物多样性研究的发展趋势,该数据库未来需参照Darwin Core等国际惯用数据规范(邵广昭等, 2010)予以进一步完善和扩展。

#### 参考文献

- Alberte RS, Snyder S, Zahuranec B, Whetstone M (1992) Biofouling research needs for the United States Navy: program history and goals. *Biofouling*, 6, 91–95.
- Connell SD (2001) Urban structures as marine habitats: an experimental comparison of the composition and abundance of subtidal epibiota among pilings, pontoons and rocky reefs. *Marine Environmental Research*, 52, 115–125.

- Edyvean RGJ, Terry LA, Picken GB (1985) Marine fouling and its effects on offshore structures in the North Sea—a review. *International Biodeterioration*, 21, 277–284.
- Fitridge I, Dempster T, Guenther J, de Nys R (2012) The impact and control of biofouling in marine aquaculture: a review. *Biofouling*, 28, 649–669.
- Gao H, Liang JR, Gao YH, Luo QQ, Li XS, Chen CP (2006) Construction of a database of common marine phytoplankton in coastal waters of China. *Journal of Xiamen University (Natural Science)*, 45(Suppl.1), 230–233. (in Chinese with English abstract) [高华, 梁君荣, 高亚辉, 骆巧琦, 李雪松, 陈长平 (2006) 我国沿海常见浮游植物检索数据库的建立. 厦门大学学报(自然科学版), 45(Suppl.1), 230–233.]
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of China, Standardization Administration of China (2007a) Specifications for Oceanographic Survey—Part 6: Marine Biological Survey. China Standards Press, Beijing. (in Chinese) [中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会 (2007a) 海洋调查规范第6部分: 海洋生物调查. 中国标准出版社, 北京.]
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of China, Standardization Administration of China (2007b) Specifications for Oceanographic Survey—Part 4: Survey of Chemical Parameters in Sea Water. China Standards Press, Beijing. (in Chinese) [中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会 (2007b) 海洋调查规范第4部分: 海水化学要素调查. 中国标准出版社, 北京.]
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of China, Standardization Administration of China (2007c) Specifications for Oceanographic Survey—Part 9: Guidelines for Marine Ecological Survey. China Standards Press, Beijing. (in Chinese) [中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会 (2007c) 海洋调查规范第9部分: 海洋生态调查指南. 中国标准出版社, 北京.]
- Glasby TM (1999) Differences between subtidal epibiota on pier pilings and rocky reefs at marinas in Sydney, Australia. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 48, 281–290.
- Griffiths HJ, Linse K, Crame JA (2003) SOMBASE—Southern Ocean Mollusc Database: a tool for biogeographic analysis in diversity and ecology. *Organisms Diversity & Evolution*, 3, 207–213.
- Gu J, Gong JX, Jiao NZ, Zhao SJ (2002) Jiaozhou Bay ecological GIS database. *Marine Sciences*, 26(1), 13–16. (in Chinese) [顾军, 龚建新, 焦念志, 赵淑江 (2002) 胶州湾海洋生态环境GIS数据库的构筑. 海洋科学, 26(1), 13–16.]
- Heaf NJ (1979) The effect of marine growth on the performance of fixed offshore platforms in the North Sea. In: *Proceedings of the 11th Annual Offshore Technology Conference*, pp. 255–268. Houston, Texas.
- Huang B, Xu FS, Dang HY (1996) The management information system of Bivalvia Mollusca database in China Seas. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 27, 220–223. (in Chinese with English abstract) [黄勃, 徐凤山, 党宏月 (1996) 中国海域双壳类软体动物数据库的结构与功能. 海洋与湖沼, 27, 220–223.]
- Huang LJ, Zheng XF, Luo T (2004) Research on object relationship mapping. *Computer Engineering and Design*, 25, 1994–1995. (in Chinese with English abstract) [黄丽娟, 郑雪峰, 罗涛 (2004) 对象映射关系型数据库技术研究. 计算机工程与设计, 25, 1994–1995.]
- Huang ZG, Cai RX (1984) *Marine Biofouling and Its Prevention*, Vol. I, pp. 1–37. China Ocean Press, Beijing. (in Chinese) [黄宗国, 蔡如星 (1984) 海洋污损生物及其防除(上册), pp. 1–37. 海洋出版社, 北京.]
- Li J, Yan T, Cao WH, Chen C, Chen RJ (2010) Advances in research of marine fouling in offshore areas. *Marine Science Bulletin*, 29(1), 113–119. (in Chinese with English abstract) [李静, 严涛, 曹文浩, 陈池, 陈如江 (2010) 近海污损生物生态研究进展. 海洋通报, 29(1), 113–119.]
- Liu ML, Yan T (2006) A review of marine fouling communities in the South China Sea. *Marine Science Bulletin*, 25(1), 84–91. (in Chinese with English abstract) [刘勐伶, 严涛 (2006) 南海污损生物生态研究进展. 海洋通报, 25(1), 84–91.]
- Marine Technology Directorate Limited (1992) *Appraisal of Marine Growth on Offshore Installations*, pp. 15–24. Marine Technology Directorate Limited, London.
- Neville A, Hodgkiess T (2000) Localised effects of macrofouling species on electrochemical corrosion of corrosion resistant alloys. *British Corrosion Journal*, 35(1), 54–59.
- Page HM, Dugan JE, Dugan DS, Richards JB, Hubbard DM (1999) Effects of an offshore oil platform on the distribution and abundance of commercially important crab species. *Marine Ecology Progress Series*, 185, 47–57.
- Perkol-Finkel S, Zilman G, Sella I, Miloh T, Benayahu Y (2008) Floating and fixed artificial habitats: spatial and temporal patterns of benthic communities in a coral reef environment. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 77, 491–500.
- Qiao HJ, Han Y, Li N, Ji LQ (2004) A model of biodiversity information integration. *Biodiversity Science*, 12, 553–561. (in Chinese with English abstract) [乔慧捷, 韩艳, 李诺, 纪力强 (2004) 生物多样性数据集成模式初探. 生物多样性, 12, 553–561.]
- Schultz MP, Bendick JA, Holm ER, Hertel WM (2011) Economic impact of biofouling on a naval surface ship. *Biofouling*, 27, 87–98.
- Shao KT, Lai KC, Lin YC, Ko CJ, Lee H, Hung LY, Chen YC, Chen LS (2010) Experience and strategy of biodiversity data integration in Taiwan. *Biodiversity Science*, 18, 444–453. (in Chinese with English abstract) [邵广昭, 赖昆祺, 林永



- 昌, 柯智仁, 李瀚, 洪铃雅, 陈岳智, 陈丽西 (2010) 台湾生物多样性资料整合之经验与策略. *生物多样性*, 18, 444–453.]
- Shao KT, Lee H, Lin YC, Lai KC (2014) A review of marine biodiversity information resources. *Biodiversity Science*, 22, 253–263. (in Chinese with English abstract) [邵广昭, 李瀚, 林永昌, 赖昆祺 (2014) 海洋生物多样性信息资源. *生物多样性*, 22, 253–263.]
- Spaanjaars I (translated by Liu WQ, Zhang GX) (2010) Beginning ASP.NET 4 in C# and VB, pp. 514–542. Tsinghua University Press, Beijing. (in Chinese) [刘伟琴, 张格仙 (译) (2010) ASP.NET 4入门经典: 涵盖C#和VB.NET, pp. 514–542. 清华大学出版社, 北京.]
- Su TY, Liu HX, Liu BH, Han JY, Yang FL (2008) Design of Yellow Sea larger marine ecosystem database. *Advances in Marine Science*, 26, 243–250. (in Chinese with English abstract) [苏天赞, 刘海行, 刘保华, 韩京云, 杨凤丽 (2008) 黄海大海洋生态系数据库设计. *海洋科学进展*, 26, 243–250.]
- Swift MR, Fredriksson DW, Unrein A, Fullerton B, Patursson O, Baldwin K (2006) Drag force acting on biofouled net panels. *Aquacultural Engineering*, 35, 292–299.
- Venkatesan R, Murthy PS (2009) Macrofouling control in power plants. In: *Marine and Industrial Biofouling* (eds Flemming HC, Murthy PS, Venkatesan R), pp. 265–291. Springer, Berlin.
- Wilhelmsson D, Malm T (2009) Fouling assemblages on offshore wind power plants and adjacent substrata. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 79, 459–466.
- Woods Hole Oceanographic Institution (1952) *Marine Fouling and Its Prevention*, pp. 3–20. United States Naval Institute, Annapolis, Maryland.
- Yan T, Cao WH (2008) Ecology of marine fouling organism in Huanghai and Bohai Seas. *Journal of Marine Sciences*, 26(3), 107–118. (in Chinese with English abstract) [严涛, 曹文浩 (2008) 黄、渤海污损生物生态特点及研究展望. *海洋学研究*, 26(3), 107–118.]
- Yan T, Liu SS, Cao WH (2008) Marine biofouling on aquaculture facilities in the coastal waters of China and prevention methods. *Marine Science Bulletin*, 27(1), 102–110. (in Chinese with English abstract) [严涛, 刘姗姗, 曹文浩 (2008) 中国沿海水产设施污损生物特点及防除途径. *海洋通报*, 27(1), 102–110.]
- Yan T, Yan WX, Dong Y, Wang HJ, Yan Y, Liang GH (2009) Marine fouling on floating installations west of Dongsha Islands, the northern South China Sea. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 63, 1079–1087.
- Yan T, Zhang H, Li YQ, Cao WH, Hu BR (2014) An overview of fouling sedentary polychaetes. *Acta Ecologica Sinica*, 34, 6049–6057. (in Chinese with English abstract) [严涛, 张慧, 李韵秋, 曹文浩, 胡碧茹 (2014) 污损性管栖多毛类生态特点及研究展望. *生态学报*, 34, 6049–6057.]
- Yang TX, Yan T, Chen C, Cao WH, Chen RJ, Cheng ZQ, Hu YF (2013) Research on the effects of marine macro-fouling organisms on metal corrosion. *Industrial Safety and Environmental Protection*, 39(11), 69–71. (in Chinese with English abstract) [杨天笑, 严涛, 陈池, 曹文浩, 陈如江, 程志强, 胡煜峰 (2013) 大型海洋污损生物对金属材料腐蚀影响及研究展望. *工业安全与环保*, 39(11), 69–71.]
- Yuan Q, Shen XQ (2004) Design and development of the database for marine fisheries eco-environmental monitoring. *Marine Fisheries*, 26, 266–270. (in Chinese with English abstract) [袁骐, 沈新强 (2004) 海洋渔业生态环境监测数据库系统的设计和实现. *海洋渔业*, 26, 266–270.]
- Zhang H, Cao WH, Wu ZW, Song XK, Wang JJ, Yan T (2015) Biofouling on deep-sea submersible buoy systems off Xisha and Dongsha Islands in the northern South China Sea. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 104, 92–96.
- Zhao B, Tang LJ, Wu QH, Chen JK (2000) The establishment and application of Shanghai Biodiversity Information Management System. *Chinese Biodiversity*, 8, 233–237. (in Chinese with English abstract) [赵斌, 唐礼俊, 吴千红, 陈家宽 (2000) 上海市生物多样性信息管理系统的建立和应用. *生物多样性*, 8, 233–237.]
- Zhu L, Xue H (2007) The mapping model of the object-oriented relational database systems and its applications. *Computer Engineering & Science*, 29(12), 120–122. (in Chinese with English abstract) [朱玲, 薛贺 (2007) 对象关系数据库系统映射模型及应用. *计算机工程与科学*, 29(12), 120–122.]

(责任编辑: 孙军 责任编辑: 黄祥忠)