

**我国沿海重要渔业水域生态
环境监测和环境影响评价**

技术总结报告

(社会公益研究专项资金项目 2001DIA10014)

(2002-2003)

承担单位： 中国水产科学研究院

二〇〇四年七月

我国沿海重要渔业水域生态
环境监测和环境影响评价

技术总结报告

(社会公益研究专项资金项目 2001DIA10014)

(2002-2003)

承担单位：中国水产科学研究院

二〇〇四年七月

前 言

渔业是海洋产业中最为重要的产业之一，渔业水域生态环境是渔业发展的重要物质基础，海洋渔业资源的数量变动、海水增养殖业的健康发展与海洋环境密切相关，海洋环境污染直接危害渔业资源、损害渔业生产和渔民的权益，因此加强渔业水域生态环境的监测与保护，既保护了渔业资源又保护了渔业的生存空间。

我国沿海的辽东湾、渤海湾、莱州湾、吕泗渔场、长江口、舟山近海、南海北部近岸、汕尾近岸、珠江口等水域是多种重要经济鱼类的产卵场和索饵场，河口水域是鳗苗、蟹苗等重要苗种的产地，还是国家保护动物如白暨豚、中华鲟等的栖息地和洄游通道，许多的内湾、近岸水域是海水增养殖的重要基地。

从 90 年代开始，随着经济的发展上述水域的环境污染问题愈来愈突出，富营养化严重，赤潮发生频率和发生面积增加，环境质量不断趋于下降，传统的产卵场、育肥场功能不断萎缩或消失，饵料生物量下降，鱼虾病害频发，养殖鱼类死亡事件时有发生，水产品质量下降，生物资源遭破坏的程度在加剧。渔业水域环境污染已经成为当前制约渔业发展的关键问题。

面对日益突出的海洋环境污染问题，国家科技部 2001 年同意立项开展《我国沿海重要渔业水域生态环境监测和影响评价》研究，本项目是一项基础性和社会公益性研究任务，其目的是通过对典型渔业水域的生态环境的综合监测和影响评价，建立渔业水域生态环境综合数据库，全面了解和掌握监测水域的环境质量状况和变动趋势，找出影响监测水域生态环境质量的主要因素，提出改善海洋渔业生态环境的对策和措施，为我国海洋渔业生态环境、渔业资源的可持续利用与管理提供决策支持。

本项目由中国水产科学研究院组织东海水产研究所、黄海水产研究所、南海水产研究所和农业部渔业生态环境监测中心共同承担，选择我国的莱州湾、长江口和珠江口邻近水域，在 2002~2003 年进行了连续二年、共四次涉及水环境、沉积环境和生物环境的定点综合监测，在此基础上，开发和完成了渔业生态环境综合数据库，对监测结果分别进行了单因子评价、单要素评价和多要素综合评价的研究，提出了改善海洋渔业生态环境的对策和措施，全面完成了合同书规定的各项任务。以下为本课题执行的技术总报告。

目 录

前言 1

1 方法研究 2

1.1 生态环境监测调查与分析方法 2

1.2 生态环境监测数据库建立 7

1.3 评价方法研究 11

2 监测水域水环境质量与评价 14

2.1 莱州湾水域 14

2.2 长江口及邻近水域 92

2.3 珠江口水域 100

3 监测水域沉积环境质量与评价 112

3.1 莱州湾水域 112

3.2 长江口及邻近水域 124

3.3 珠江口水域 127

4 监测水域生物环境质量与评价 129

4.1 莱州湾水域 129

4.2 长江口及邻近水域 154

4.3 珠江口水域 205

5 监测水域环境质量综合评价 241

5.1 莱州湾水域 241

5.2 长江口及邻近水域 249

5.3 珠江口水域 255

5.4 总体评价 261

5.5 渔业水域生态环境的保护和管理的对策和措施 263

参考文献 267

附录 269

附录 1 浮游植物种类名录 269

附录 2 浮游动物种类名录 279

附录 3 鱼卵、仔鱼种类名录 288

附录 4 渔业生态数据库使用说明 292

附录 5 论文目录 323

1 方法研究

1.1 生态环境监测调查与分析方法

1.1.1 监测水域范围、监测站位和监测时间

根据项目实施方案，本项目分别选择位于黄渤海区的莱州湾水域、东海区的长江口及邻近水域和南海区的珠江口水域，其中莱州湾水域监测范围为： $37^{\circ}15' \sim 37^{\circ}45'N$ ， $119^{\circ}10' \sim 119^{\circ}55'E$ ，长江口及邻近水域监测范围包括长江口外、杭州湾和舟山渔场近岸水域，即 $30^{\circ}00' \sim 31^{\circ}15'N$ ， $121^{\circ}30' \sim 122^{\circ}30'E$ 的海域范围；珠江口水域监测范围从虎门口至桂山岛海域，即 $22.67^{\circ}N \sim 22.18^{\circ}N$ ， $113.61^{\circ}E \sim 113.87^{\circ}E$ 的海域范围。

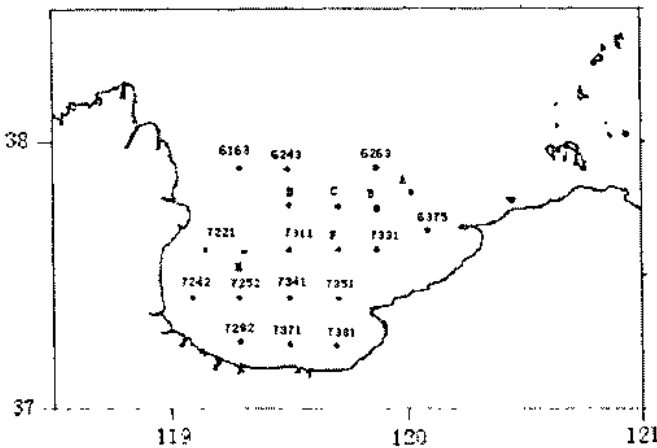


图 1.1-1 莱州湾调查站位

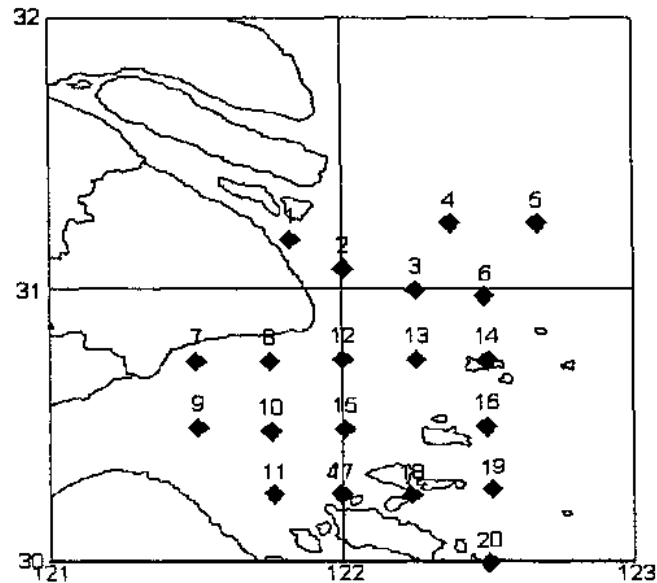


图 1.1-2 长江口及邻近水域调查站位

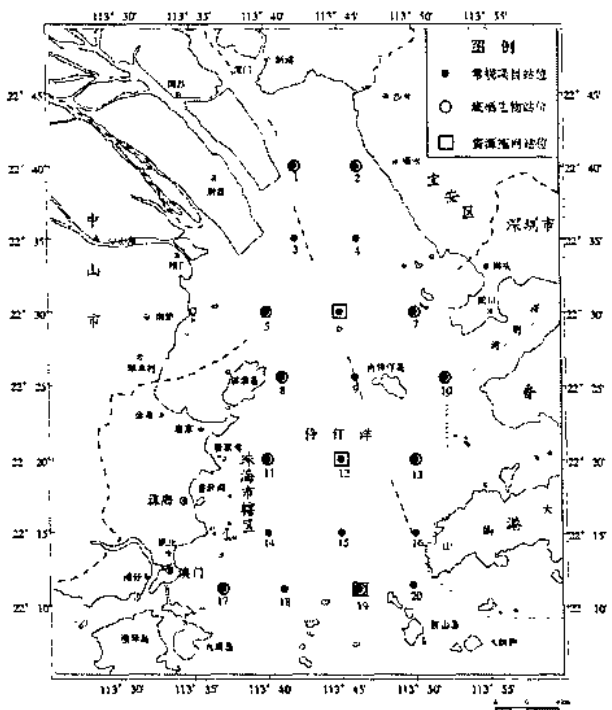


图 1.1-3 珠江口水域调查站位

每个水域设置 20 个监测站点, 各监测点的位置如图 1.1-1、图 1.1-2 和图 1.1-3 所示及表 1.1-1、表 1.1-2 和表 1.1-3 所示。其中东海区的 20 个监测点中, 1~6 号监测点为长江口水域, 7~11 号监测点为杭州湾水域, 12~20 号监测点为舟山群岛水域。

三个监测水域的监测时间相同, 均为 2002~2003 年的 5 和 8 月。

表 1.1-1 莱州湾水域监测站位位置

站号	经度(E)	纬度(N)	站号	经度(E)	纬度(N)
7331	119.83	37.50	6163	119.33	37.75
6375	120.08	37.58	e	119.33	37.50
A	119.97	37.67	7221	119.17	37.50
6263	119.83	37.75	7252	119.25	37.33
B	119.83	37.62	7242	119.08	37.30
c	119.67	37.62	7282	119.25	37.20
F	119.67	37.50	7371	119.5	37.20
7311	119.5	37.50	7341	119.5	37.33
D	119.5	37.62	7351	119.67	37.33
6243	119.5	37.75	7381	119.67	37.20

表 1.1-2 长江口及邻近水域监测站位位置

站号	经度(E)	纬度(N)	站号	经度(E)	纬度(N)
1	121° 49.2'	31° 11.4'	11	121° 45'	30° 15'
2	122° 00'	31° 05'	12	122° 00'	30° 45'
3	122° 15'	31° 00'	13	122° 15'	30° 45'
4	122° 21'	31° 15'	14	122° 30'	30° 45'
5	122° 35'	31° 15'	15	122° 00'	30° 30'
6	122° 30'	31° 00'	16	122° 30'	30° 30'
7	121° 30'	30° 45'	17	122° 00'	30° 15'
8	121° 45'	30° 45'	18	122° 17'	30° 11'
9	121° 30'	30° 30'	19	122° 30'	30° 16'
10	121° 45'	30° 30'	20	122° 30'	30° 00'

表 1.1-3 珠江口水域监测站位位置

站号	经度(E)	纬度(N)	站号	经度(E)	纬度(N)
1	113.700	22.667	11	113.667	22.333
2	113.770	22.667	12	113.750	22.333
3	113.700	22.583	13	113.833	22.333
4	113.770	22.583	14	113.667	22.250
5	113.667	22.500	15	113.750	22.250
6	113.750	22.500	16	113.814	22.250
7	113.833	22.500	17	113.615	22.185
8	113.683	22.427	18	113.685	22.185
9	113.767	22.427	19	113.770	22.185
10	113.867	22.427	20	113.827	22.190

1.1.2 采样与分析方法

水环境监测，每个监测点按《海洋监测规范》，水深小于 10m，仅采集表层水样(水面下 50cm 处)，水深等于、大于 10m，采集表、底层水样。三个水域共有的水质监测指标：水温、盐度、pH、溶解氧(DO)、硝酸盐、亚硝酸盐、氨氮，无机氮(硝酸盐氮、亚硝酸盐氮和氨氮之和)、无机磷、化学需氧量(COD)、石油类、铜、铅、锌、镉。另外莱州湾、长江口水域增加了砷、汞的指标，珠江口水域增加了硅酸盐指标。水样的采集、保存和分析方法均按《海洋监测规范》(GB17378.4-1998)规定的方法进行。各项目的具体分析方法见表 1.1-4。

表 1.1-4 水质监测项目及分析方法

监测项目	分析方法	检出下限
水温	Hydrolab 水质测定仪	0.01℃
盐度	Hydrolab 水质测定仪	0.01‰
PH	pH 计电测法	0.01 pH
溶解氧	溶解氧仪法	0.03 mg/L
化学耗氧量	碱性高锰酸钾法	0.15 mg/L
硝酸盐氮	铈-镉还原法	0.7×10^{-3} mg/L
亚硝酸盐氮	萘乙二胺分光光度法	0.5×10^{-3} mg/L
氨氮	次溴酸钠氧化法	0.4×10^{-3} mg/L
活性磷酸盐	磷钼蓝分光光度法	0.62×10^{-3} mg/L
石油类	紫外分光光度法	0.2×10^{-3} mg/L
铜	阳极溶出伏安法	0.6×10^{-3} mg/L
锌	阳极溶出伏安法	1.2×10^{-3} mg/L
铅	阳极溶出伏安法	0.3×10^{-3} mg/L
镉	阳极溶出伏安法	0.09×10^{-3} mg/L
砷	原子荧光法	0.5×10^{-3} mg/L
汞	原子荧光法	0.007×10^{-3} mg/L

表层沉积物监测，样品采用抓斗式采泥器采集，取表层 5cm 以上的湿泥样装入聚乙烯袋中密封，按《海洋监测规范》规定的方法分析测定表层沉积物中的重金属(铜、铅、锌、镉)和石油类含量。另外莱州湾水域增加了硫化物、有机质、砷和汞指标，长江口水域增加了砷和汞指标。

沉积物中铜、锌、铅、镉和石油烃的测定方法参照《海洋监测规范》(GB17378.5-1998)。汞、砷采用原子荧光法测定，石油烃采用紫外分光光度计法分析。其评价标准以《海洋沉积物质量标准》(GB18688-2002)中第一类海洋沉积物质量标准(干重)为准。沉积物各项目的具体分析方法见表 1.1-5。

表 1.1-5 表层沉积物中各要素的分析方法

项目	分析方法	检出限($\times 10^{-6}$)
铜	火焰原子吸收分光光度法	2×10^{-6}
锌	火焰原子吸收分光光度法	6×10^{-6}
铅	火焰原子吸收分光光度法	3×10^{-6}
镉	火焰原子吸收分光光度法	0.05×10^{-6}
砷	原子荧光法	0.06×10^{-6}
汞	原子荧光法	2.0×10^{-3}
石油烃	紫外分光光度计法	2×10^{-6}

水生生物监测项目包括叶绿素 a、浮游植物、浮游动物和鱼卵、仔鱼，各项目监测按《海洋调查规范》进行。其中叶绿素 a 调查各站使用有机玻璃采水器取表层或表、底两层水样，每层水样取 500~1000ml，在船上用 $0.45 \mu m$ 混合纤维素酯滤膜进行减压抽滤，加碳酸镁粉末，将截留浮游植物细胞的滤膜置于暗处，低温、干燥保存，带回实验室按《海洋调查规范》，采用分光光度法测定不同波段光密度值，按叶绿素 a 计算公式计算叶绿素 a 含量；浮游植物取样使用浅水 III 型浮游生物网，浮游动物取样采用浅水 I 型浮游生物网，取样方法均为垂直拖网；鱼卵仔鱼取样莱州湾和珠江口水域采用浅水 I 型网于表层水平拖曳 10 分钟采集；长江口水域采用浅水 I 型，垂直拖网；样品采集后，现场用福尔马林溶液固定，带回实验室进行种类鉴定及按个体计数法进行计数、统计和分析。

主要水产经济品种样品是用虾拖网捕获，生物体石油烃和重金属(铜、铅、锌、镉、汞、砷)含量的分析测定按《海洋监测规范》进行。生物体内污染物质残留量分析采用取样品可食部分均匀混合后作分析样品。其中铜、铅、锌和镉采用火焰原子吸收分光光度法测定，生物体内汞、砷含量测定采用原子荧光法测定。生物体内石油烃含量分析采用乙醚萃取或氟里昂(113)萃取，正己烷溶解定容的方法，采用荧光分光光度计测定石油烃含量(激发 310nm、发射 364nm、狭缝 10nm)。油标由国家海洋局海洋环境监测中心提供。生物体内重金属各要素、石油烃的含量均以湿重表示。

1.2 生态环境监测数据库建立

国内对于环境监测类数据库的研究主要围绕于 MODAT 软件(该软件由国家环境监测总站编写)的开发或改进,软件环境为 DOS 系统,该软件的设计面向陆源环境监测,针对陆地、河流和湖泊的监测,其生物部分缺少底栖生物、浮游生物及其生物多样性的统计,不能满足海洋渔业生态环境监测的需求。针对海洋生物调查的 126 项目数据库,软件环境为 Foxpro 2.5 和 Windows95 以上,缺少生物体残留量、生物多样性及资料的分析评估功能。

海洋渔业生态环境监测数据来源广泛,涉及的因子多,各因子之间关系复杂,在进行环境评价时,往往需要综合考虑这些因素,因此需要设计一个包含多种因子,不仅可对各种数据交叉查询,统计分析,综合评价,而且数据必须易与其他系统,如地理信息系统相联接的开放型数据库。Microsoft Access 2000 由表、查询、窗体、报表、数据访问页、宏和模块组成,可以直接与 Mapinfo 相联接,还可以自动操作 Microsoft office 下其他应用程序如 Excel,发布 internet 信息,并可在其内部直接使用 VB 编程,基于 Access 的众多综合性优点,本数据库选用其作为开发环境,利用 VB—ADO 数据访问方法实现对数据库系统的管理和对数据处理调用。在综合分析研究了 MODAT 和国家海洋勘测专项之海洋资源与信息补充调查项目数据库的基础上,针对海洋渔业生态环境监测的特殊需要,增加了污染物质生物体残留量于数据库;除提供数据输入、查询等功能外,还设计了单航次和多航次的数据统计分析,以及多种水质、底质和生物污染程度综合评估模型。

1.2.1 数据库系统的设计

海洋渔业生态环境监测数据库系统分成三大模块,包括数据输入模块、数据统计分析模块和外部数据导入模块(图 1.2-1)。数据输入模块分别提供浮游植物、浮游动物、底栖生物、鱼卵仔鱼、水化学、底质和水文以及污染生物体残留量数据的输入界面;数据统计分析模块有两部分组成,即单航次数据统计分析和多航次数据统计分析;外部数据通过外部数据导入模块转化进入数据库系统。数据库系统主要包括 18 张表,表与表之间用关联字段以一对多或一对一的关系组合形成关系数据库。整个数据库系统以航次表为起点,以一对多关系联结站位表,再以站位表为节点,以多方式联结不同各表。图 1.2-2 显示了浮游植物数据库的结构,站位表以一对一的方式联结浮游植物采样方法表,浮游植物生物表以多对一的方式分别与采样方法表和种名录表联结,其他生物类数据库的设计与其类似。图 1.2-3 为环境因子数据库的结构,站位表以一对一方式与各

环境因子表联结，各因子表再与相关的评价标准表联结。

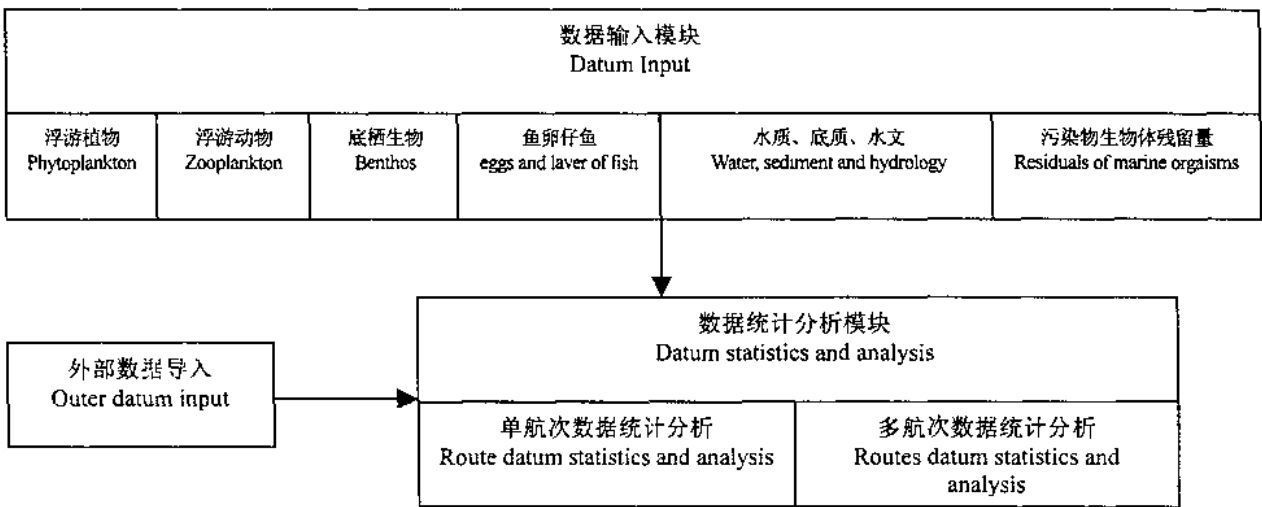


图 1.2-1 数据库系统的组成

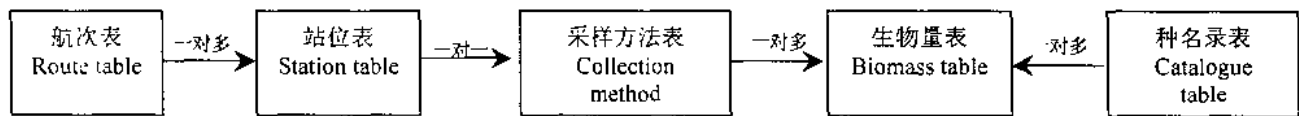


图 1.2-2 浮游植物数据库的设计

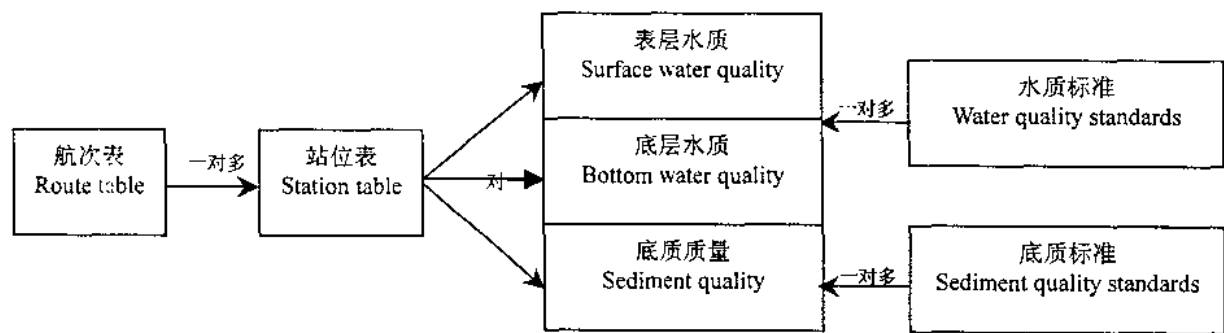


图 1.2-3 环境因子数据库的设计

生物因子数据库包含生物个体数、生物量、标本号、采样方法、日期、时间、地点、中文名拉丁文名、类群、多样性指数、数量百分比等字段。水文、水质数据库则包括层次、水温、盐度、透明度、营养盐、DO、PH、COD、油类、重金属、叶绿素等字段；底质数据库包括重金属、油类等字段；生物体残留量数据库由重金属、石油烃等污染因子字段组成。

1.2.2 模块设计

1.2.2.1 数据输入模块

- 数据输入是数据库系统的一个重要功能，为了便于数据的快速、准确输入及识别，利用 Access 窗体对象，共设计了 6 种数据输入界面，以实现数据的分类输入。
- A. 种名录：在生物类数据库结构中引入种名录表，以一对多的方式与分别各自生物量表联结，并可以分别选用拼音、拉丁文或代码输入，这样不仅减少了重复输入的工作量，并可避免由于同种异名等原因造成的输入错误。
 - B. 生物多样性：生物多样性是评估生态系统状态的一个重要指标，主要包括：丰富度、均匀度、多样性和单纯度；在生物类数据库中使用 VB-ADO 调用相关表中数据，在数据输入完成的同时，利用 Access 触发功能计算生物多样性及种类百分比组成，并将计算结果反馈给相应的表，达到数据输入和常规统计同步完成的目的。
 - C. 纠错功能：鉴定浮游生物样品时，同一种生物若被分开记录，则会导数多种计算错误，这种错误在种类丰富的调查站位中特别常见，因此在输入模块中加入检测模块，一旦发生此类错误，检测模块显示重复种的名称和重复次数。

1.2.2.2 数据分析统计模块

根据海洋渔业生态环境监测的需要，在分析模块中提供了生物个体数、优势度、极值等的统计分析，以及水质、底质和贝类中污染物质残留量的评估。按统计范围，

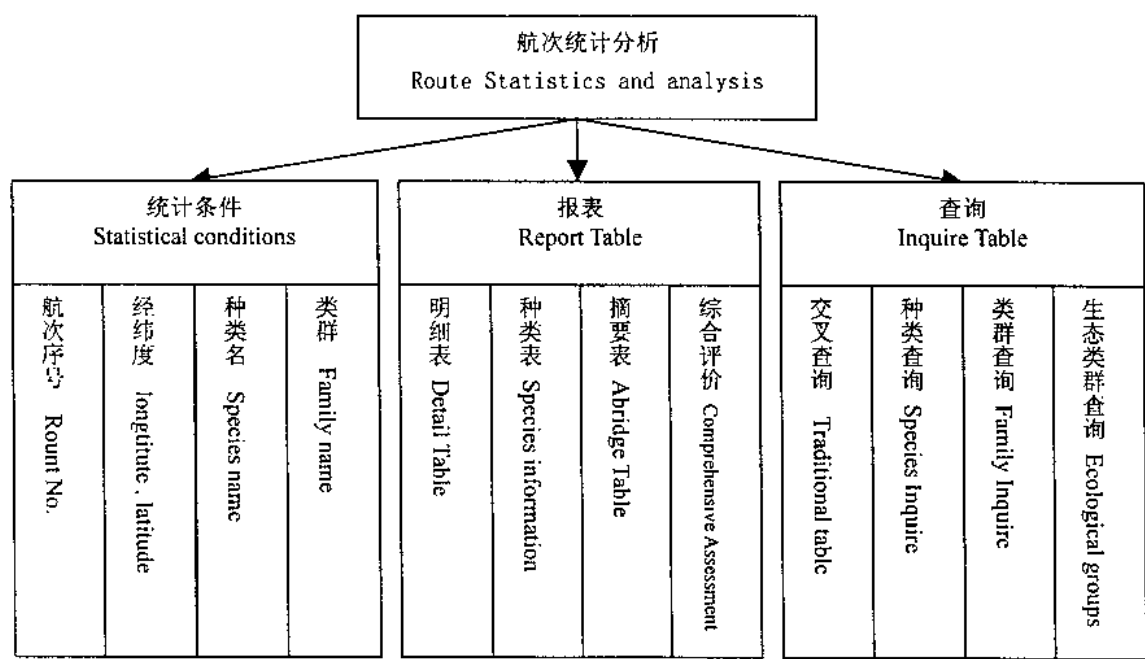


图 1.2-4 单航次统计分析模块的组成

可分成单航次数据统计模块和多航次数据统计模块。模块调用从窗体输入、存储在表

中、相互关联的数据，利用 ACCESS 的查询、报表和窗体功能，结合 VBA，实现统计分析模块的各种功能。该模块由统计条件、报表和查询三部分组成(1.2-4)。

A. 统计条件：统计条件包括航次序号、经纬度、种类名、类群等，根据经纬度等条件可将调查区域划分成不同的水域，实现分区域的统计分析。种类名、类群等条件可快速查找该种或该类群的数量分布信息。

B. 报表模式：模块提供了 22 种报表模式，根据其数据类型，大致可以分成 4 类：
明细表：分别详细罗列了每个调查站位的具体信息如生物多样性、种类数量、百分比统计，以及最大、最小值、平均值、方差等。

摘要表：包括每个站位的分类群统计资料和航次综合统计资料。

种类表：每个种的平均数量、百分比、优势度、以及分类群的数量、百分比和类群种类数；并且以不同的颜色和字体表示不同等级的优势度。

综合评价表：结合《渔业水质标准》、《海水水质标准》、《海洋沉积物质量标准》、《海洋生物质量》和重金属、石油类和苯酚等污染物质的算术平均值、单项指数法、内梅罗指数、均方根、向量模型，评估调查区域的水质和底质的污染等级。采用 A 值、NQI 值、E 值评估水体的

有机污染水平。采用指数平均法 $PI = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{CI}{SI}$ 结合贝类评价标准、单项指数法评估贝类受重金属和油类污染的水平。

C. 查询功能

查询功能设计包括 4 类 16 种查询模式。

交叉查询：该查询结果输出传统的生物统计报表。

种类查询：根据统计条件中的种类名，输出该种类的各种信息。

类群查询：根据统计条件中的类群名，输出该类群各站位的总数量。

生态类群查询：查询各生态类型在该航次中的总数量及百分比。

1.2.2.3 外部数据导入模块的设计及实现

由于信息往往来自多台计算机，特别是当同一航次的不同信息位于不同的

计算机时，需要将这些信息分门别类地导入到相应的表中。外部数据导入模块根据航次名、输入单位、识别这些信息是否属于同一航次；根据站位名、日期、时间和水层信息共同判断信息是否属于同一站位、是分层还是连续观测站位信息。填写需要导入数据的航次序号、数据的位置即可完成数据的

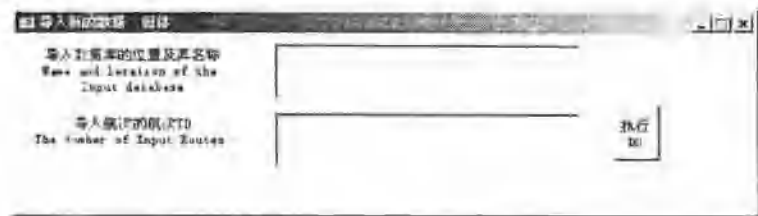


图 1.2-5 外部数据导入模块的界面

续观测站位信息。填写需要导入数据的航次序号、数据的位置即可完成数据的

导入工作(图 1.2-5)。

1.3 评价方法研究

1.3.1 评价标准选择

水质评价标准对参数 pH、DO、油类、铜、锌、铅、镉、砷和汞的评价标准参照《渔业水质标准》(GB11607-89),对无机氮、活性磷酸盐和 COD 的评价标准参照《海水水质标准》(GB3097-1997)的一类标准。

表 1.3-1 水质评价标准

监测项目	评价标准(mg/L)
PH	7.0~8.5
溶解氧	≥5.0 mg/L
化学耗氧量	≤2.0 mg/L
无机氮	≤0.20 mg/L
活性磷酸盐	≤0.015 mg/L
石油类	≤0.05 mg/L
铜	≤0.01 mg/L
锌	≤0.1 mg/L
铅	≤0.05 mg/L
镉	≤0.005 mg/L
砷	≤0.05 mg/L
汞	≤0.0005 mg/L

沉积物质量评价标准选择《海洋沉积物质量标准》(GB18688-2002)中第一类海洋沉积物质量标准(干重)。

表 1.3-2 沉积物中重金属和石油类评价标准

项目	评价标准(×10 ⁻⁶)
铜	≤35
锌	≤150
铅	≤60
镉	≤0.5
砷	≤20
汞	≤0.20
石油类	≤500

表 1.3-3 海洋生物体内污染物质评价标准(湿重: mg/kg)

种 类	Cu	Pb	Cd	Hg	As	石油烃
鱼类	≤50	≤0.5	≤0.1	≤1.0	≤0.5	≤3
甲壳类	≤50	≤0.5	≤0.5	≤0.5	≤1.0	≤5
贝类	≤50	≤1.0	≤1.0	≤1.0	≤1.0	≤10

海洋生物体内污染物质残留评价以无公害食品——水产品中有毒、有害物质限量(NY5073-2001)规定,对石油烃采用贾晓平等(1999)提出海洋动物体石

油烃污染评价标准参考值标准, 具体见表 1.3-3。

1.3.2 评价模式选择

1.3.2.1 水生生物分析所用的生态指标公式

$$A. \text{ 优势度: } C = \sum_{i=1}^s \left(\frac{n_i}{n} \right)^2$$

$$B. \text{ 丰富度: } D = \frac{(S-1)}{\log_2(N)}$$

$$C. \text{ 多样性: } H' = - \sum_{i=1}^s \left(\frac{n_i}{N} \right) \log_2 \left(\frac{n_i}{N} \right)$$

$$D. \text{ 均匀度: } e = \frac{H'}{\log_2(S)}$$

1.3.2.2 单因子评价模式

$$P_i = \frac{C_i}{S_i} \quad (1)$$

式中: P_i 为污染因子的质量分指数; C_i 为污染因子的测定值; S_i 为 i 污染物的评价标准。

1.3.2.3 富营养化评价模式

富营养化指数采用下列公式计算:

$$E = \frac{COD \times DIP \times DIN}{4500} \times 10^6 \quad (2)$$

式中: E 为富营养化指数; COD 为化学需氧量(mg/L); DIN 为无机氮含量(mg/L); DIP 为活性磷酸盐含量(mg/L)。当 $E \geq 1.0$, 表明水域已达到富营养化, E 值越大, 水体富营养化程度越严重; $0.5 \leq E < 1$ 表明水域处于中营养水平; $E < 0.5$ 表明水域处于贫营养。

1.3.2.3 生物单项指数计算公式

A. 叶绿素 a 指数计算公式

参照吉田阳一, 低次生产阶段における生物生产の変化(日本水产学会编: 水圏の富栄養化と水产増养殖, 恒星社厚生阁, 1973: 93~103), 计算叶绿素 a 指数:

$$D_{af} = \text{Chl. a} / 1.0 \quad (3)$$

当 $D_{af} < 1$ 时, 为贫营养水域, 当 $1 \leq D_{af} \leq 10$ 时, 为富营养水域, 当 $D_{af} > 10$, 为过营养水域。

B. 浮游生物多样性指数计算公式

$$H_i = -\sum_{j=1}^n \left(\frac{n_j}{N}\right) \log_2 \left(\frac{n_j}{N}\right) \quad (4)$$

式中 H_i 为 i 类生物多样性指数, n_j 为 j 种类的个体数, N 为总个体数, 多样性指数。当 $H_i < 1$ 时, 表明水体受到重污染, $H_i < 2$ 时, 表明水体受到中污染, $H_i < 3$ 时, 表明水体受到轻污染, $H_i \geq 3$, 表明水体清洁。

1.3.2.4 水质、沉积物多项指数综合评价公式

$$Q = \left(\sum_{i=1}^n P_i \right) / n \quad (5)$$

式中 Q_j 为水质、沉积物综合指数, P_i 为 i 污染因子的污染指数,

1.3.2.5 生物多样性综合指数评价公式

$$Q_{\text{生}} = \{D_{\text{叶}} + 1/H_z + 1/H_d\} / 3 \quad (6)$$

式中 $Q_{\text{生}}$ 为叶绿素 $a(D_{\text{叶}})$ 、浮游植物(H_z)和浮游动物(H_d)的多样性综合指数, 为与水质或表层沉积物质量综合指数匹配, 取多样性指数的倒数。

1.3.2.6 生态环境质量综合评价指数

A. 综合评价指标体系构建

首先建立综合评价的指标体系, 指标分为两级, 一级指标为水质指标、表层沉积物指标和生物指标, 二级指标是对一级指标的具体细化, 其中水质指标选用无机氮、无机磷、铜、锌、铅、镉、溶解氧、石油类、化学需氧量共计 9 个指标; 表层沉积物指标选用铜、锌、铅、镉计 4 个指标; 生物指标选用浮游植物生物多样性、浮游动物生物多样性、叶绿素 a 计 3 个指标。

B. 采用的标准

由于各评价指标具有不同的量纲, 因此采用统一的评价标准对数据进行了无量纲化处理。所采用的标准为: 水质诸指标统一采用渔业水质标准, 如渔业水质标准中没有规定则采用海水一类标准; 表层沉积物诸指标采用海洋沉积物质量一类标准; 生物指标中浮游生物多样性指数采用香农-威纳指数(H'), 叶绿素 a 指标以 1.0 为评价标准。

C. 主成分分析中的关键参数、方法

应用 Spss10.0 程序，进行主成分分析计算方法，关键方法有：分析采用的矩阵形式为协方差矩阵，利用方差最大化方法对因子进行正交旋转。关键参数为：旋转后主成分因子的方差贡献率 A，旋转后的因子荷载矩阵 B。假设参与主成分分析的指标为 x1, x2, x3,xp, 分析得 k 个主成分(Z1, Z2,Zk), 则矩阵 A、B 可表示如下：

$$A = \begin{vmatrix} a_1 & a_2 & a_3 & . & . & a_k \end{vmatrix}$$
$$B = \begin{vmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} & . & . & b_{1p} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} & . & . & b_{2p} \\ b_{31} & b_{32} & b_{33} & . & . & b_{3p} \\ . & . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . & . \\ b_{k1} & b_{k2} & b_{k3} & . & . & b_{kp} \end{vmatrix}$$

其中矩阵 A 中 a₁, a₂,a_k 为 k 个主成分的方差贡献率；矩阵 B 中最上一列 b₁₁, b₁₂,b_{1p} 为主成分 Z₁ 在指标 x₁, x₂, x₃,x_p 上的荷载系数，以此类推。

参照冯利华(2003)、余建星(2003)的方法，各主成分得分计算公式为：

$$\begin{aligned} Z_1 &= b_{11} X_1 + b_{12} X_2 + + b_{1p} X_p \\ Z_2 &= b_{21} X_1 + b_{22} X_2 + + b_{2p} X_p \\ Z_k &= b_{k1} X_1 + b_{k2} X_2 + + b_{kp} X_p \end{aligned} \tag{7}$$

其中 X₁, X₂,X_p 为指标 x₁, x₂, x₃,x_p 的无量纲化指标值。

则总得分计算公式为：

$$Z = a_1 Z_1 + a_2 Z_2 + a_3 Z_3 + + a_k Z_k \tag{8}$$

把式(7)代入式(2)，得：

$$\begin{aligned} Z &= a_1 (b_{11} X_1 + b_{12} X_2 + + b_{1p} X_p) + a_2 (b_{21} X_1 + b_{22} X_2 + + b_{2p} X_p) \\ &+ + a_k (b_{k1} X_1 + b_{k2} X_2 + + b_{kp} X_p) \\ &= (a_1 b_{11} + a_2 b_{21} + + a_k b_{k1}) X_1 + (a_1 b_{12} + a_2 b_{22} + + a_k b_{k2}) X_2 + \\ &+ (a_1 b_{1p} + a_2 b_{2p} + + a_k b_{kp}) X_p \end{aligned} \tag{9}$$

把 a₁b₁₁ + a₂b₂₁ + + a_kb_{k1} 计为 β₁，把 a₁b₁₂ + a₂b₂₂ ++ a_kb_{k2} 计为 β₂，.....把 a₁b_{1p} + a₂b_{2p} + + a_kb_{kp} 计为 β_p，则得：

$$Z = \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + + \beta_p X_p$$

此处 β₁, β₂, β_p 可看作指标 x₁, x₂,x_p 的相对权重系数。

由于水质、沉积物、生物指标数量不等，如把指标综合在一起进行处理会造成水质指标实际权数过重，因此对三类指标分别进行了主成分分析，求得一级指标得分，再综合在一起进行进一步的主成分分析，确定三者权重，最后求