

黄、渤海生物资源 与栖息环境

金显仕 赵宪勇 等著
孟田湘 崔 毅



科学出版社
www.sciencep.com

黄、渤海生物资源 与栖息环境

黄、渤海生物资源
与栖息环境

黄、渤海生物资源与栖息环境

金显仕 赵宪勇 孟田湘 崔毅等著

科学出版社

北京

内 容 简 介

我国自 1996 年开始组织实施“海洋生物资源补充调查及资源评价”项目,其中黄、渤海海洋生物资源与栖息环境调查是重要内容之一,1998 年 5 月至 2000 年 12 月利用专业调查船在黄、渤海进行了 5 个航次的多学科综合调查,本书是这次调查工作的总结,内容涵盖了黄、渤海渔业资源、物理海洋、化学海洋、生物环境等与海洋资源相关的各个领域,具体包括:渔业资源和环境调查方法;温度、盐度、溶解氧、pH、营养盐、初级生产力、叶绿素 a、浮游植物、浮游动物、底栖生物;生物资源的种类组成、密度分布和资源量评估,各主要渔业种类的渔业生物学特征,以及渔业状况、渔业资源的变动趋势、渔业管理和可持续利用措施和发展方向。

本书为我国海洋渔业的可持续发展提供了科学依据,为渔业管理、科研和教学提供了重要参考。

图书在版编目(CIP)数据

黄、渤海生物资源与栖息环境/金显仕,赵宪勇,孟田湘,崔毅等著. —北京:科学出版社,2005

ISBN 7-03-015476-2

I. 黄… II. ①金…②赵…③孟…④崔… III. ①黄海-海洋生物资源-栖息环境②渤海-海洋生物资源-栖息环境 IV. P745

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 044594 号

责任编辑:彭胜潮 王日臣 韩 鹏/责任校对:钟 洋

责任印制:钱玉芬/封面设计:王 浩

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

源海印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2005 年 9 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2005 年 9 月第一次印刷 印张: 26 1/4

印数: 1—1 600 字数: 600 000

定价:85.00 元

(限国内发行)

(如有印装质量问题,我社负责调换(新欣))

序

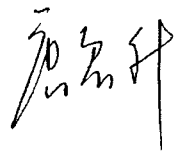
海洋覆盖了地球表面的近 71%，由于海洋中蕴藏着丰富的自然资源，对人类社会可持续发展起着重要的作用，因此，海洋开发和保护正在受到世界各国，尤其是沿海国家的广泛关注和高度重视。为了维护海洋自然资源的主权以及一系列特定事项的管辖权，1994 年《联合国海洋法公约》生效后，世界大多数沿海国家纷纷建立了专属经济区和专属渔业区制度，把沿海自然资源纳入自己的管辖范围之内。联合国粮食及农业组织制定了《负责任渔业行为守则》及一系列配套国际行动计划，并于 2001 年 10 月召开负责任渔业大会，提出将“生态系统水平的渔业管理”作为世界渔业管理的战略目标。2002 年 8 月召开的联合国可持续发展世界首脑会议，将“自然资源保护、可持续管理和负责任渔业”作为重要议题形成《执行计划》和《政治宣言》，提出“实现可持续渔业，于 2005 年前对捕捞能力进行管理，2015 年前恢复衰退中的渔业资源，使之处于最大可持续产量的水平”。

2000 年 12 月 1 日实施的修改后的《中华人民共和国渔业法》规定，“国家根据捕捞量低于渔业资源增长量的原则，确定渔业资源的总可捕量，实行捕捞限额制度”。为保护、增殖和合理利用渤海生物资源，保护渤海水域生态环境，保障渔业生产者合法权益，促进渤海渔业可持续发展，农业部于 2004 年 5 月 1 日开始实施《渤海生物资源养护规定》。

我国的海上邻国多数建立了专属经济区和专属渔业区制度，宣布了大陆架范围。我国政府于 1996 年正式批准了《联合国海洋法公约》。渤海为我国内海，黄海周边国家包括中国、韩国、朝鲜三国，为养护和合理利用共同关心的海洋生物资源，维护海上正常作业秩序，中国政府和韩国政府于 2000 年 8 月 3 日签订了《中华人民共和国政府和大韩民国政府渔业协定》，使我国在黄海可作业渔场明显缩小，渔业资源利用的冲突加剧。为养护和合理利用黄、渤海生物资源，并逐步实行科学化管理，就需要充分了解海洋生物资源及其栖息环境状况，但是黄、渤海全海区的系统调查资料严重不足，特别是近十几年来，没有进行过较大范围的生物资源与栖息环境调查，基础数据不足，远不能满足新海洋形势下我国专属经济区和跨国渔业管理的需要。为此，1996 年国家启动了由农业部组织实施的“海洋生物资源补充调查及资源评价”，其中，黄、渤海海洋生物资源及其环境调查是其重要内容之一。从 1998 年 5 月至 2000 年 12 月在黄、渤海共进行了 5 个航次的多学科综合调查，由具有世界先进技术装备

的“北斗”号科学考查船承担。该书是这次调查工作的总结,内容涵盖了黄、渤海渔业资源学、物理海洋学、化学海洋学、生物海洋学等渔业与海洋学的各个领域,为逐步实行限额捕捞和生态系统水平的渔业管理,促进黄、渤海渔业资源的可持续利用,维护我国在黄海的海洋权益提供了重要的基础资料。

中国工程院院士

A handwritten signature in black ink, appearing to read '唐震' (Tang Zhen), written in a cursive style.

2004年8月

前 言

黄、渤海区是我国重要的渔业作业水域,蕴藏着丰富的自然资源。2002 年海洋渔业捕捞产量已超过 500 万吨,占全国海洋捕捞产量的 36%,在满足市场需求、出口创汇和稳定渔业人口生活等方面起了重要作用。目前,海洋开发和保护正在受到世界各国的高度重视。为了维护海洋自然资源的主权,大多数沿海国家纷纷建立了专属经济区和专属渔业区制度,把沿海自然资源纳入自己的管辖范围之内。我国的海上邻国朝鲜、韩国、日本等先后建立了专属经济区和专属渔业区制度,宣布了大陆架范围。我国政府也于 1996 年正式批准了《联合国海洋法公约》,同时郑重声明:中华人民共和国享有 200 n mile^①专属经济区和大陆架的主权权利和管辖权,并为建立我国专属经济区作准备。这是我国在维护海洋权益方面做出的重要步骤。

黄海为多个周边国家共同关注的渔业水域,在此水域进行渔业生产的除中国外,尚有日本、韩国、朝鲜等多个国家,对海洋生物资源利用的竞争和与周边国家在渔业资源开发与保护方面的矛盾日趋激烈。

由于海洋生物资源是移动性资源,它们的分布多超过一个国家的管辖范围,为几个国家共同利用。在海洋法生效、各国纷纷宣布 200 n mile 专属经济区之后,就存在如何管理和合理利用这些生物资源的问题,这就需要大量的基础资料。1949 年以来,黄、渤海进行过不少海洋生物资源调查,但都是针对个别渔场和个别渔业对象进行的专业调查,缺乏全海区的系统资料。特别是近十几年来,几乎没有进行过较大范围的生物资源与栖息环境的调查,因此,必须摸清我国黄、渤海广大海域生物资源与栖息环境的基本情况,为养护和合理利用我国专属经济区和多国共管水域的渔业资源提供科学依据。

生物资源除具有移动性外,它还是一种动态特征明显的可再生资源。由于人类开发活动和全球环境的变化,海洋生物资源处在不断变化中。就黄、渤海而言,20 世纪 70 年代以前,渔业赖以生存的传统的优质渔业对象,现今大多已衰落,种群结构逐渐小型化、低龄化,短生命周期、低营养级的小型中上层鱼类、头足类和小型虾、蟹类取代了原有的大型优质经济种类,种群交替不断发生。因此,开展黄、渤海海洋生物资源调查,掌握生物资源的种类、数量和种群结构以及渔业生物学变化,评价现行的开发水平,并在此基础上建立信息量大、使用方便的黄、渤海海洋生物资源与栖息环境数据库及地理信息系统,对科学管理黄、渤海渔业,使我国海洋渔业可持续发展是十分必要的。

鉴于上述需要,我国于 1996 年开始了海洋勘测工作,并把黄、渤海海洋生物资源补充调查及资源评价列为重要内容之一,由农业部渔业局组织实施。

具有世界先进技术水平“北斗”号科学考查船承担了项目的主要调查任务,1998

^①n mile: 海里,计量海洋上距离的长度单位,1 n mile=1852 m。可与 SI 单位并用的我国法定计量单位(只用于海程)。

年5月~2000年12月,共完成黄、渤海海上调查5航次,海上作业96天,完成声学航程15 000 n mile,底拖网取样站449个,环境站363个,中层拖网站47个,取得了大量宝贵的第一手资料。

上述调查研究所取得的主要成果有:

(1) 取得了大量生物资源和栖息环境的综合资料,摸清了生物资源及其环境状况。生物资源调查是渔业发达国家常规的公益性工作,对评价资源及其环境状况和开发水平,指导渔业生产,进行资源管理,特别是多国渔业管理起到了重要作用。我国在1958~1959年进行过一次以海洋物理、海洋化学、海洋生物、海底沉积和海底地貌为主的全国海洋普查,取得了我国海洋史上第一批关于中国近海的系统性资料,改变了我国缺乏基本海洋资料的局面。生物资源方面,1953年以后也进行过不少调查。在黄、渤海规模比较大、调查范围比较广的有渤海生态基础调查、黄海生态系调查、中国海岸带和海涂资源综合调查等。除此之外,还先后对对虾、小黄鱼、大黄鱼、带鱼、黄海鲱鱼、鲈鱼等主要渔业对象进行过资源、渔场调查。但上述调查多为局部海域和个别渔业对象的调查。在本次调查启动前的几年,除海区渔政渔港监督管理局进行过一些渔业资源监测调查,及各省市对个别渔场和个别鱼种进行过一些调查外,调查工作基本处于停顿状态。因此,十分缺乏反映我国海洋渔业资源与环境现状及其变化的系统的、科学的和在国际渔业管理中可以应用的资料。

本次调查是继全国海洋普查之后40多年来又一次全国性的海洋调查。本次调查所取得的大量资料使我们摸清了当前黄、渤海广大海域生物资源的状况,包括生物资源栖息环境、生物资源的种类组成、各种生物资源的密度分布和资源量、主要渔业种类的种群结构和渔业生物学特征及其20世纪60年代以来发生的变化,为今后黄、渤海生物资源科学管理,以及今后的科研、教学等提供了重要的基础资料。

(2) 使用先进的渔业资源声学评估系统,对生物资源进行了评估。我国过去的生物资源调查,大多由渔船用拖网进行,不但技术手段落后,而且不能较准确地评估海洋中的生物资源数量。20世纪80年代以后,声学资源评估技术在国外迅速发展起来,并得到广泛应用。渔业发达国家大多采用该项技术进行资源评估,取得了较好的效果。声学方法的优点是声呐系统,直接评估海洋中主要生物资源数量,能够给渔业资源管理提供及时的基础数据。我国1984年开始利用“北斗”号生物资源专业调查船和声学评估系统对黄、东海鳀鱼资源进行评估,取得了很好的效果。本次调查首次使用该技术对黄、渤海30多种渔业资源进行了声学评估,填补了我国在该领域的空白,使我国生物资源评估工作达到了世界先进水平。

(3) 同步进行了生物资源栖息环境调查。由于海洋生物资源的洄游、分布和变动受当时、当地海洋环境制约较大,在本次生物资源调查过程中,同步进行了海洋环境调查,内容包括水温、盐度、酸碱度、溶解氧、硝酸盐、亚硝酸盐、氨氮、磷酸盐、硅酸盐等生物资源栖息海域的理化环境,及各海区的初级生产力和叶绿素a含量,浮游植物、浮游动物、底栖生物等饵料生物以及鱼卵、仔鱼的种类、数量和分布。1958~1959年全国海洋普查时进行过上述大多数因子的调查,但缺乏同步进行的生物资源调查资料。40多年来,黄、渤海海洋环境究竟发生了什么变化,它与生物资源的变化又有什么关系,我们并不很清楚。本次栖息环境调查是与生物资源调查同步进行的,这就使我们不仅了解了目前黄、渤海海洋环

境的基本状况和 40 多年来发生的变化,而且为研究不同生物资源栖息海区的理化环境和生物环境,不同生物资源在不同时期的分布与环境的关系,黄、渤海初级生产力的大小以及饵料保证状况等,提供了重要的基础资料。

中国水产科学研究院黄海水产研究所承担了黄、渤海区的主要调查任务。国家海洋局第一、第三海洋研究所和中国科学院海洋研究所也参加了部分调查与研究工作。在国家海洋勘测专项领导小组的指导下,在农业部渔业局项目领导小组及其办公室和有关部门的领导、协调和支持下,顺利地完成了调查任务。

参加黄、渤海调查研究的科技人员共 50 多人,一些离退休的老专家也被邀参加。此次调查涵盖了渔业资源学、物理海洋学、化学海洋学、生物海洋学等渔业与海洋学的各个领域。

本书是以这次调查资料为基础结合历史资料编写而成的。出版本书的目的主要是为我国海洋渔业的可持续发展提供科学依据,为渔业管理、科研和教学提供参考。中国工程院院士唐启升研究员为本书作序。在此,对承担海上调查任务的“北斗”号调查船全体船队员、参加调查资料采集和分析的人员,以及对本书的出版提供帮助和支持的所有单位、领导和同仁表示衷心的感谢。由于时间仓促,书中缺点和错误在所难免,敬请批评指正。

目 录

序

前言

第一章 调查研究方法	1
第一节 调查设计	1
一、调查海区、时间与站位	1
二、调查船只与网具	4
第二节 调查项目及方法	5
一、环境调查	5
二、渔业资源声学评估	7
三、拖网调查	18
第二章 生物资源栖息环境	21
第一节 海洋水文、化学环境	21
一、水温.....	21
二、盐度.....	38
三、溶解氧	55
四、pH	58
五、硅酸盐	60
六、磷酸盐	64
七、无机氮	69
八、渔业资源栖息环境海水化学基本特征与变化趋势	73
第二节 生物环境	75
一、叶绿素 a 和初级生产力	75
二、浮游植物	91
三、浮游动物	98
四、鱼卵、仔稚幼鱼	110
五、底栖生物	126
第三节 渔业资源栖息环境综合评价	132
一、渔业资源栖息环境质量现状.....	132
二、渔业资源栖息环境变化趋势.....	138
三、重要渔场的生态环境特征	141
第三章 渔业资源种类和数量	144
第一节 种类组成	144
一、渔获种类	144

二、渔获种类的季节和区域变化·····	144
三、区系特征·····	146
四、渔业资源组成·····	147
第二节 密度分布·····	149
一、渔业生物总资源密度分布状况·····	149
二、鱼类及其优势种资源密度分布状况·····	149
三、甲壳类及其优势种资源密度分布状况·····	156
四、头足类及其优势种分布状况·····	159
第三节 资源量评估·····	162
一、声学方法·····	162
二、扫海面积法·····	235
第四章 主要渔业种类·····	262
第一节 中上层鱼类·····	262
一、鳀鱼·····	262
二、蓝点马鲛·····	274
三、鲐·····	282
四、银鲳·····	287
第二节 底层鱼类·····	299
一、带鱼·····	299
二、小黄鱼·····	308
三、白姑鱼·····	322
四、鲆鲽类·····	327
五、鲻鳓类·····	341
六、叫姑鱼·····	345
七、东方鲀类·····	351
第三节 甲壳类·····	357
一、对虾·····	357
二、鹰爪虾·····	361
三、脊腹褐虾·····	366
第四节 头足类·····	369
一、日本枪乌贼和火枪乌贼·····	369
二、太平洋褶柔鱼·····	374
第五章 渔业资源状况与可持续利用·····	380
第一节 渔业资源和渔业状况·····	380
一、海洋渔业状况·····	380
二、各类群渔业资源状况·····	381
三、渔业资源的变化趋势·····	382
第二节 主要渔业种类资源状况·····	384
一、鳀鱼·····	384

二、蓝点马鲛	386
三、鲈	386
四、银鲳	387
五、小黄鱼	388
六、鲆鲽类	388
七、玉筋鱼	389
八、对虾	389
九、其他经济甲壳类	390
十、头足类	391
第三节 渔业资源管理与可持续利用.....	391
一、黄、渤海渔业资源管理现状	391
二、海洋渔业面临的问题	392
三、渔业资源可持续利用措施和发展方向	392
主要参考文献.....	395
附录 黄、渤海生物种类名录	397

第一章 调查研究方法

第一节 调查设计

一、调查海区、时间与站位

黄海调查范围为 124°E 两侧黄海中部海域,即 121°00′~125°45′E,33°00′~39°30′N,调查海区面积 $31 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。

调查站位按棋盘式布设,即按经纬度成方格网状设观测站,以了解大范围海洋生物资源和栖息环境要素的分布规律及时空变化。但冬季和春、夏、秋季的航次及布站有所变化。春、夏、秋季调查时,123°30′E 以东海域原则上每经度 30′、纬度 30′内设观测站 5 个,123°30′E 以西海域原则上每经度 30′、纬度 30′内设观测站 4 个。冬季调查时,一般每经度 1°、纬度 1°内设观测站 5 个或 3~4 个。渤海仅进行夏、冬两季调查。站位设置分别见图 1.1.1 和图 1.1.2。

海上调查自 1998 年 5 月 14 日起实施,截止到 2000 年 12 月 19 日,完成了全部渤海夏、冬季 2 个季节和黄海春、夏、秋、冬季 4 个季节的调查,共计 5 航次 363 站次。海上调查时间历时 134 天,调查总航程 16 103 n mile。各航次调查时间及调查测站数见表 1.1.1。

表 1.1.1 黄、渤海生物资源栖息环境调查时间及调查测站数

航次号	调查时间 (年、月、日)	经纬度	水文 要素	海化 要素	叶绿素	初级 生产力	浮游 植物	浮游 动物	鱼卵、 仔稚鱼	底栖 生物
1	1998. 5. 14~6. 2	33°00′~39°30′N 121°00′~125°45′E	85	42	85	7	85	85	85	43
2	1999. 9. 13~10. 5	33°00′~39°30′N 121°00′~125°45′E	32	16	32	3	32	32	32	16
3	1999. 12. 10~2000. 1. 1	33°39′~39°00′N 121°30′~125°30′E	42	42	40	7	40	40	40	36
4	2000. 8. 1~9. 10	33°00′~40°30′N 118°30′~125°45′E	105	62	103	8	105	105	105	62
5	2000. 9. 25~10. 15	33°00′~39°00′N 121°30′~125°30′E	99	59	99	7	99	99	99	41
	2000. 12. 14~12. 19	37°45′~40°18. 5′N 118°45′~121°18. 5′E								
合计			363	221	359	32	361	361	361	198

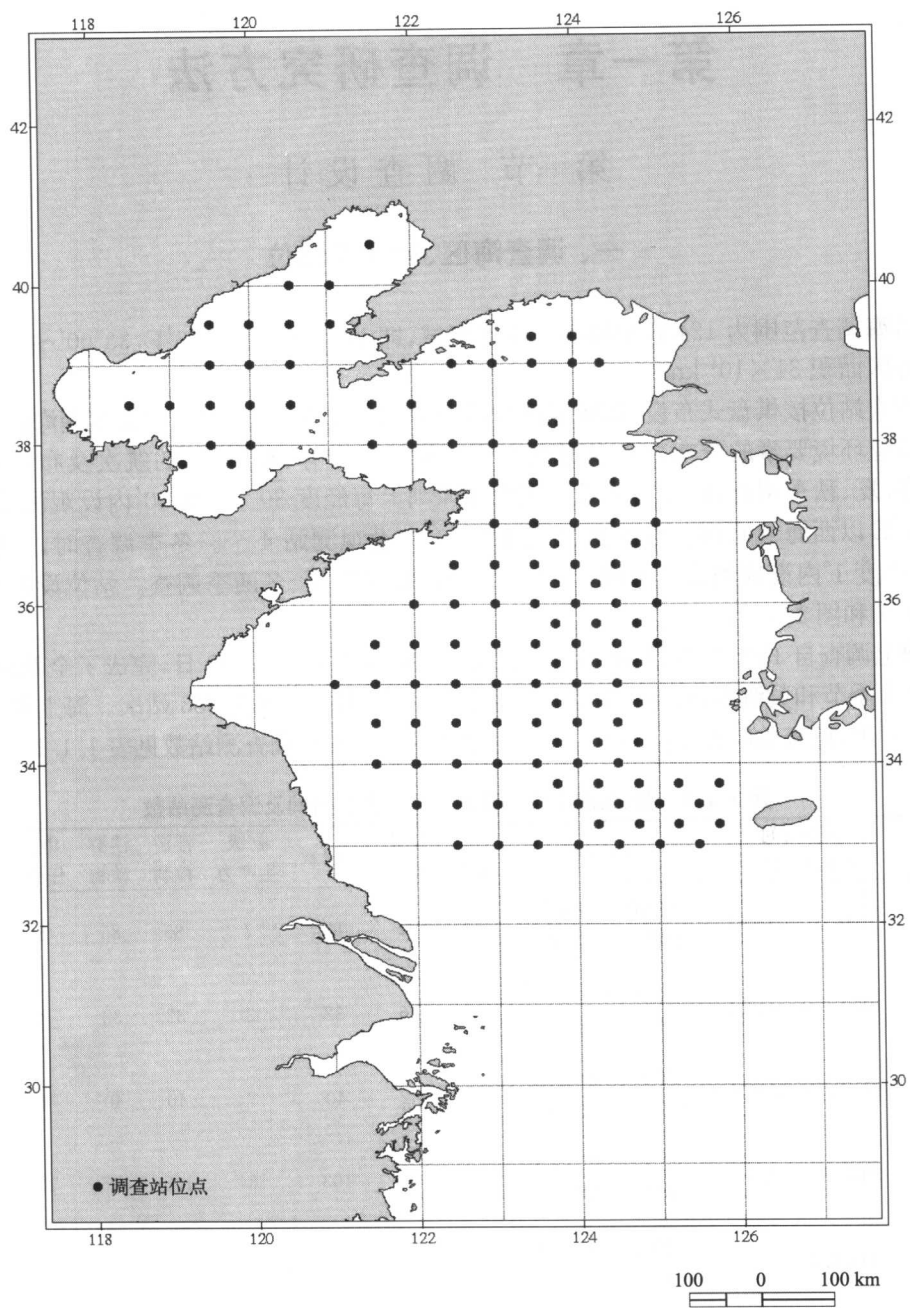


图 1.1.1 黄海春、夏、秋季与渤海夏季生物资源和栖息环境调查站位图

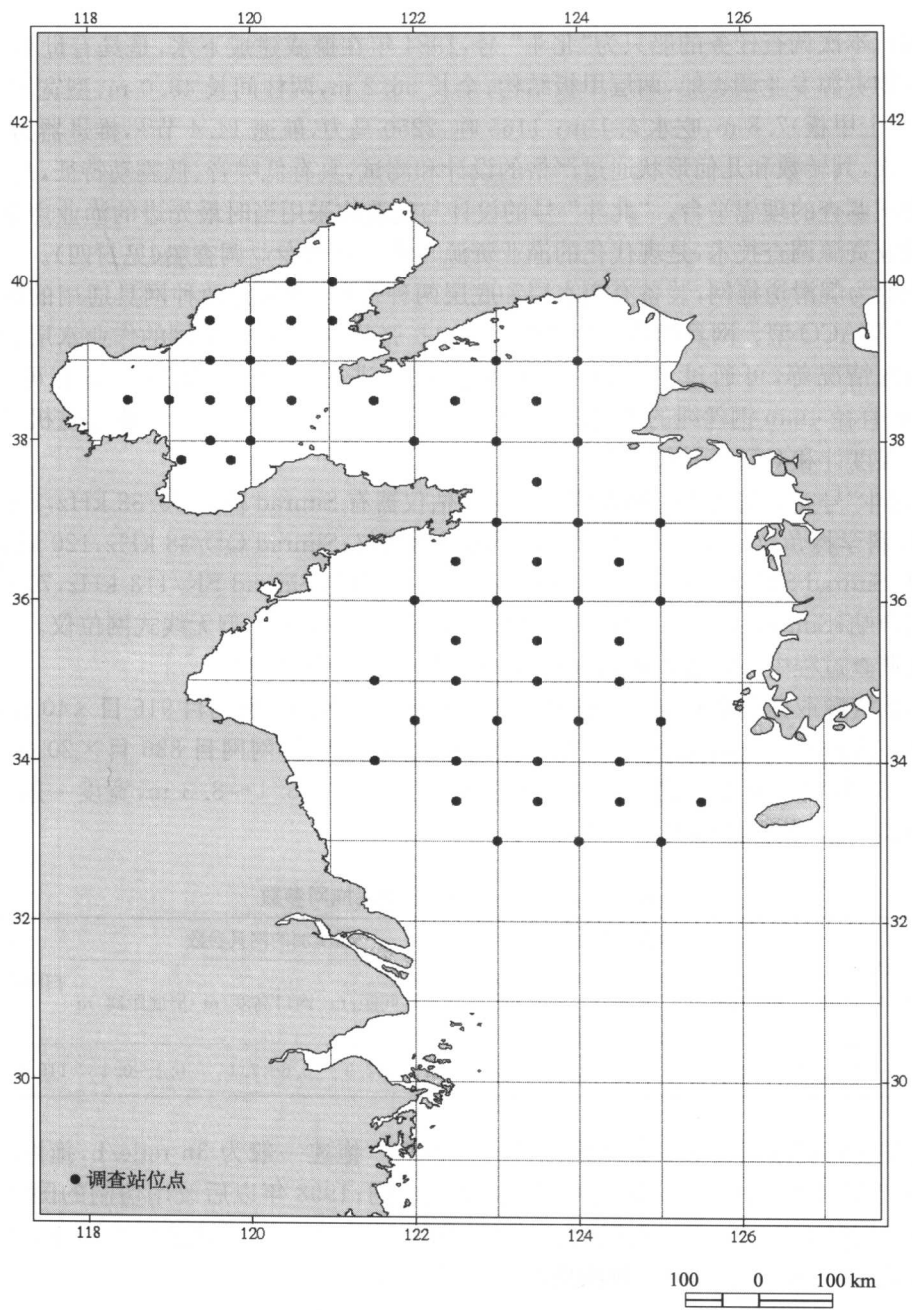


图 1.1.2 黄、渤海冬季生物资源与栖息环境调查站位图

二、调查船只与网具

执行本次调查任务的船只为“北斗”号,1984年在挪威建成下水,是具有世界先进水平的生物资源专业调查船,两层甲板结构;全长 56.2 m,两柱间长 48.0 m,型宽 12.5 m,型深(至上甲板)7.8 m,吃水 5.1 m;1165 吨,2250 马力,航速 14.4 节^①,推进器为 4 叶可变螺距式,其转数和几何形状通过严格的设计和测试,具有低噪音、低震动特征,是进行声学及拖网调查的理想平台。“北斗”号的设计与建造均采用当时最先进的渔业声学、海洋学与渔业资源调查技术,是现代化的渔业资源与渔业环境专业调查船(见封四)。

该船为艏滑道拖网,装备有变水层和底层两种拖网;网板为两种网具通用的曲面、矩形 7 m² WACO 型。网具的作业性能包括网口扩张尺度、变水层拖网的作业水层、底层拖网的刹底情况等,可通过 Scanmar 网具监测系统实时监控。该船还装备有可容纳长 3500 m、直径 4mm 钢丝绳的水文绞车一台和臂长 9 m、可负荷 3 t 的回旋起重机一部,可供颠倒温度计和 CTD 采样之用。

“北斗”号安装的现代化渔业资源声学评估仪器有 Simrad EK 400/38 kHz,120 kHz,49 kHz 科学探鱼仪;Simrad FS 100 鱼群影像监视仪;Simrad QD/38 kHz,120 kHz 回声积分仪;Simrad SM/600 kHz,34 kHz 多波束扫描声呐;Simrad SK/113 kHz,70 kHz 短程搜索声呐;Simrad ET-100,FR-500 网位仪;4001,4004,4015 型无线式网位仪。

在调查过程中又购置了更先进的 Simrad EK500 科学探鱼仪。

生物资源取样设备有变水层拖网和底层拖网。变水层拖网网目 916 目×40 cm,网口高、宽度 18 m×24 m,拖速 3.0~3.5 n mile/h。底层取样网网目 836 目×20 cm,拖速 3.0~3.5 节,网口高度根据水深和曳纲长度一般变动在 6.1~8.3 m,宽度一般变动在 24.5~25.9 m,其参数如表 1.1.2 所示。

表 1.1.2 “北斗”号调查船底拖网参数

船名	拖速 (n mile/h)	网具结构参数			需实测的网具参数			扫海面积/m ²
		网具主尺寸	网口 周长/m	网具 总长度/m	袖端间距/m	网口高度/m	离底距离/m	
“北斗”	3.1~3.5	836 目×200mm	167.2	83.2	22.5~22.9	6.6~7.1	0.1~0.4	116.7~131.2

底层生物资源调查采取逐站拖网的办法进行。拖速一般为 3n mile/h,拖网时间为 1h。1997 年开始调查的两个航次网具为挪威进口网;1998 年以后改用仿制的国产网,性能与进口网基本相同。由于水深、曳纲长度、拖速不同,“北斗”号底拖网的网口宽度和高度稍有差异,1998 年 3 月的实测结果如表 1.1.3 所示。

^①节,航海速度单位,符号为 kn,1 kn=1n mile/h。

表 1.1.3 “北斗”号底拖网实测结果

拖速/(n mile/h)	挪威原装网		国产 PE 材料仿制网	
	网口高度/m	大脚离地距离/m	网口高度/m	大脚离地距离/m
3.1	6.9	0.3~0.6	7.1	0.1~0.4
3.3	6.6	0.1~0.4	6.6	0.1~0.3
3.5	6.3	0.1~0.4	6.6	0.1~0.3

第二节 调查项目及方法

一、环境调查

1. 海上调查采样与分析方法

环境调查分七大专题:海洋水文、海水化学、初级生产力、浮游植物、浮游动物、鱼卵及仔稚鱼和底栖生物等专项调查研究。调查项目包括水温、盐度、酸碱度、溶解氧、亚硝酸盐、硝酸盐、氨氮、磷酸盐、硅酸盐、叶绿素 a、初级生产力、浮游植物、浮游动物、鱼卵及仔稚鱼和底栖生物 15 项。采样及分析方法按“海洋调查规范”(GB-12763. 6-91)执行。

1) 海洋水文调查

春季调查利用颠倒采水器采水测定,夏、秋和冬季调查利用 SBE-19 Seacat profiler 型 CTD 测定。测定水层为表层、5 m、10 m、20 m、30 m、50 m、75 m。水深低于 75m 时,采至底层,水层数根据水深情况而定。

2) 海水化学调查

水样用颠倒采水器采集。测定水层按规范要求的标准水层,即测定表层、5m、10m、20m、30m、50m、75m。水深低于 75m 时,测至底层。溶解氧采用 YSI-55 便携式溶氧仪现场测定;pH 采用数显式 PHS-pH 计电测法测量;活性硅酸盐、活性磷酸盐、亚硝酸盐、硝酸盐和氨氮分别采用硅钼蓝比色法、抗坏血酸还原磷钼蓝比色法、重氮-偶氮比色法、锌-镉还原比色法和次溴酸钠氧化比色法测定。

3) 叶绿素和初级生产力调查

叶绿素 a 的取样层次为 0m、5m、10m、20m、30m、50m、75m。叶绿素 a 的测量用萃取荧光法,测量仪器为 Turner-Designs-10 型荧光计。

初级生产力测定用¹⁴C 示踪法。在黄海区每个季节,根据水体深度(深水区、浅水区)、离岸远近(近岸、远岸)、河口分布及渔场特征等参数,分别选择 7~10 个对整个调查水域有较好代表性的站位进行同化系数的现场测定。同化系数的测定采用¹⁴C 模拟现场培养法,模拟的光学深度分别为表面光照强度的 100%、50%、30%、10%和 1%。