

◇ 国家杰出青年科学基金资助项目

中国的海洋化学

宋金明等 编著

 海洋出版社

国家杰出青年科学基金资助项目

中国的海洋化学

宋金明 等编著

海洋出版社

2000年·北京

内 容 提 要

《中国的海洋化学》是我国第一部比较系统论述海洋化学在中国的发展历程、获得的主要成果及未来发展展望的专著,它不仅有编著们自己的研究成果,更为重要的是还包括了我国海洋化学工作者 50 年来的主要科研成果。

全书分四章,第一章概括了世界与中国的海洋学和海洋化学发展历程以及中国海洋化学史;第二章阐述了中国近海化学海洋学的主要研究结果;第三章重点阐述了中国海洋化学研究的发展阶段;第四章简要分析了中国海洋化学的发展前景。本书内容丰富、资料翔实、可读性强,给人以启迪,可供从事海洋学、地理学、环境科学、化学与化工、科学史等科教工作者及有关高等院校研究生阅读、参考。

图书在版编目(CIP)数据

中国的海洋化学/宋金明编著. —北京:海洋出版社,
2000. 10
ISBN 7-5027-5108-4

I. 中… II. 宋… III. 海洋化学-概况-中国
IV. P734

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 52462 号

责任印制:刘志恒

责任编辑:陈 刚

海洋出版社 出版发行

(100081 北京市海淀区大慧寺路 8 号)
北京海洋印刷厂印刷 新华书店发行所经销
2000 年 10 月第 1 版 2000 年 10 月北京第 1 次印刷

开本:787×1092 1/16 印张:14

字数:350 千字 印数:1~600 册

定价:58.00 元

海洋版图书印、装错误可随时退换



宋金明教授

1964年4月出生于河北省枣强县，1985年毕业于长春地质学院（现吉林大学），后在中国科学院海洋研究所获硕士和博士学位。现任中国科学院海洋研究所海洋化学研究中心主任、研究员、博士生导师，所咨询评议委员会委员、所学术委员会委员、所学位委员会委员，并兼任中国海洋化学会副理事长，中国海洋湖沼化学会常务理事兼秘书长、中国海洋湖沼学会、中国海洋学会青年指导委员会委员。1999年，他被美国纽约科学院聘为会员。使几年来，他一直从事海洋生物地球化学与应用海洋化学研究，目前，他是国家杰出青年科学基金、国家海洋863项目、国家自然科学基金等国家级课题的主持人。他已在《中国科学》等重要刊物上发表学术论文80余篇，出版《中国近海沉积物——海水界面化学》等专著4部，并出版《蓝色的疆土》、《崛起的海洋资源开发》、《蔚蓝色的希望》等科普著作3部，曾获国家科技进步二等奖（1999）一项，中国科学院科技进步一等奖（1998）、三等奖（1996）各一项，中国科学院自然科学二等奖（1993）、三等奖（1998）各一项，1998年获山东省委组织部、省人事厅、省科协授予的“山东省青年科技奖”和中共中央组织部、国家人事部、中国科协授予的“中国青年科技奖”1999年获青岛市委市政府授予的“青岛市青年学术、工程技术带头人”称号。1999年获国家杰出青年科学基金资助并享受国务院政府特殊津贴。

前 言

在告别 20 世纪、进入又一个千年之际,大量的回顾类、展望类图书问世,这对于重视知识的人们确是一件幸事,本书在这种情况下应运而生。

尽管人类用化学的简单知识去认识海洋已有几千年的历史,但作为近代实验科学意义上的海洋化学研究在中国的开展却是最近 50 年的事。20 世纪 50 年代末 60 年代初的全国海洋普查开创了我国海洋化学系统研究的先河,50 年来,我国的海洋化学学科从小到大,由弱到强,历经几代海洋化学工作者的努力得到了长足的发展,基本上摸清了中国近海化学要素的分布变化规律,建立了有中国特色的海洋化学理论体系。老一辈海洋化学家在极其艰苦的条件下,取得了令世界瞩目的研究成果。早在 20 世纪 60 年代初,我国海洋化学学科开创者之一、厦门大学李法西教授就系统地开展了河口硅酸盐转移机理的研究,标志着我国海洋化学用系统的理论指导实际海洋调查研究的开始,从此我国海洋化学深层次的大规模调查陆续展开。20 世纪 50~60 年代中国科学院海洋研究所纪明侯研究员等就系统开展中国经济海藻化学资源利用研究,以后,以此为基础建立了世界最大规模的海藻化学工业。所有这些令人自豪的成绩,无一不激励着我们年轻一代海洋化学人去努力、去奋斗,坚定为我国海洋化学的更加辉煌而竭尽全力的信心。

海洋化学深层次的研究导致了其研究方向的分化,且越分越细,这就使致力于一个研究方向的海洋化学研究者,难以熟悉其他方向已经做了什么和将要做什么。海洋化学同行与非海洋化学工作者都迫切希望有一本较全面总结中国海洋化学过去的著作,但编撰这样一本著作是一件非常困难的事,原因在于写出来的这本书如果有遗漏或提法上的轻重不妥会导致一些同行间的意见。记得 1997 年 6 月,我国海洋化学学科的创始人之一、青岛海洋大学孙秉一教授在临终前的几个月对我讲:“海洋化学在中国的发展很不容易,很有必要总结总结这方面的东西。将来就靠你们这些年轻人了……”,孙先生那殷切希望的目光与话语,我一直铭刻在心。

在世纪与千年之交的辞旧迎新之际,我斗胆承担起这一重任,原因就在于我深信我国的海洋化学工作者都是深明大义之人,毕竟人掌握资料的数量与范围是有限的,即使书中有遗漏或写作上轻重不妥也可以谅解,再加上有老一辈的海洋化学家纪明侯研究员、黄奕普教授、陈水土研究员、侯保荣研究员、季明堂研究员及同行赐稿,更增强了我的信心。当然,任何一项具有拓荒性质的工作都是相当困难的,因为它没有可循的模式,尤其是科学史方面的工作更是如此。

尽管困难重重,但千里之行始于足下,第一步总要有人去走的。我们正是抱着这一目的来开展这一工作的。同时,靠自己的能力和水平,要想将这一工作做得圆满无缺,也是不可能的。我们权且将编著出版此书做为抛砖引玉之举。但有两点是要必须郑重声明的:

第一,由于本书具有史志性质,引用了太多太多人的资料与成果,而书中又不可能全一一列出,特向书中已标出特别是未标出出处的著作者表示最深深的谢意。

第二,由于跨越年代久远而掌握的资料又有限,书中肯定会有许多重要海洋化学工作者的许多重要成果遗漏,这些遗漏的部分丝毫不说明不重要。书中也会存在诸多提法上的轻重不妥,敬请海洋化学同仁谅解。

本书分四章,第一章概括了世界与中国的海洋学和海洋化学发展历程以及中国海洋化学史;第二章阐述了中国近海化学海洋学的主要研究结果;第三章则重点阐述了中国海洋化学研究的发展阶段;第四章简要分析了中国海洋化学的发展前景。各章节的主要执笔者如下:

第一章的第一、二、三节 宋金明,第四节 宋金明、季明堂、纪明侯;第二章的第一、五节 宋金明,第二节 暨卫东、陈金民,第三节 陈水土、纪明侯,第四节 黄奕普、陈敏;第三章第一、二、三节 宋金明,第四节 侯保荣、李言涛;第四章第一、二节 宋金明,全书由宋金明统稿。

本书自筹划到撰写完成始终得到国家自然科学基金委员会地球科学部领导及海洋学科主任王辉教授及海洋化学界同行的鼎力支持,并得到国家杰出青年科学基金(No. 49925614)的资助出版,特此向以上单位与个人表示诚挚的谢意。

宋金明

2000年5月14日于

青岛汇泉湾畔

目 录

第一章 中国海洋化学史	
第一节 从世界的海洋学到中国的海洋学	(1)
第二节 从世界的海洋化学到中国的海洋化学	(18)
第三节 古代中国海洋化学史——从海水制盐开始	(19)
第四节 近现代中国海洋化学史——中国海洋化学学科的建立与发展	(23)
第二章 中国的化学海洋学	
第一节 海水中主要组分的化学	(53)
第二节 微量组分与溶解气体化学	(56)
第三节 生源要素化学	(69)
第四节 同位素海洋化学	(102)
第五节 海洋颗粒物化学	(115)
第三章 中国的海洋化学研究	
第一节 化学海洋学研究	(131)
第二节 海洋生物体化学成分的研究与应用	(152)
第三节 海水化学资源利用研究	(159)
第四节 海洋金属腐蚀与防护	(174)
第四章 中国海洋化学发展展望	
第一节 中国未来的化学海洋学——与全球变化有关的化学海洋学过程研究	(193)
第二节 应用海洋化学的发展——与海洋资源可持续利用相关的化学技术研究	(198)
主要参考文献	(202)

Contents

Chapter 1 History of Marine Chemistry in China

- 1. 1 Oceanography from the World to China (1)
- 1. 2 Marine chemistry from the World to China (18)
- 1. 3 Archeology of marine chemistry in China (19)
- 1. 4 Modern history of marine chemistry in China (23)

Chapter 2 Chemical Oceanography in China

- 2. 1 Chemistry of major components (53)
- 2. 2 Minor components and dissolved gases (56)
- 2. 3 Chemistry of biogenic elements (69)
- 2. 4 Isotope marine chemistry (102)
- 2. 5 Chemistry of marine particulates (115)

Chapter 3 Marine Chemistry Research in China

- 3. 1 Chemical oceanography research (131)
- 3. 2 Chemical components and their application in organisms (152)
- 3. 3 Chemical resource application research in seawaters (159)
- 3. 4 Metal corrosion and protection in marine environments (174)

Chapter 4 Prospects for Marine Chemistry in China

- 4. 1 Future of chemical oceanography (193)
- 4. 2 Development of applied marine chemistry (198)

- References (202)

第一章 中国海洋化学史

海洋是生命的摇篮,与人类息息相关。海洋科学知识的积累也与人类文明进步在同步地进行,但使用科学的方法与手段对海洋进行考察研究也仅有近两百年的时间。一部海洋科学研究的历史,也是一部人类认识自然、改造自然和利用自然的波澜壮阔史。

海洋化学作为与物理海洋学、海洋地质学、海洋生物学并列的四个二级学科之一,是海洋科学的组成部分。自古以来,海洋化学与海洋科学一样,其研究是理论与实际的密切结合而发展的,了解海洋化学的发展史,就必须研究海洋科学的发展史。

第一节 从世界的海洋学到中国的海洋学

世界的海洋学发展或者说国外的海洋学发展与中国的海洋学发展时而同步,时而交错,中国的海洋学研究对世界的海洋学做出了贡献。

一、世界海洋学的发展

人类研究海洋的历史非常悠久,从海洋科学发展的历程看,可以划分为 3 个历史时期。从史前到 18 世纪末,为海洋学建立以前的时期,是海洋知识逐步获取和累积的时期;从 19 世纪到 20 世纪 50 年代,是海洋学的建立和发展时期;自 20 世纪 50 年代末以来,为海洋科学在全世界范围内向深度和广度发展的时期。海洋考察是海洋科学的主要组成部分。长期的海洋考察,不断揭开海洋的奥秘,极大地丰富了人们的海洋知识。

(一) 海洋知识累积时期(从史前到 18 世纪末)

海洋学知识是在海洋生产实践和航海探险中开始累积的。这个时期可以分为两个阶段:古代阶段和海洋地理考察阶段。

1. 古代阶段(从史前到 14 世纪)

在中国,5000 年前出现了独木舟,3000 年前出现了木帆船。公元前 200~公元 100 年,中国沿海航线已经畅通,并开辟了通过朝鲜半岛到达日本诸岛,绕过中南半岛到达印度和斯里兰卡等航线。据文献记载,公元 12 世纪初中国人已把指南针应用于航海。

距今 4000~5000 年前,居住在地中海地区的美索不达米亚、埃及和希腊克里特岛的居民,已具有一些海洋知识。公元前 2000~公元前 1000 年左右,腓尼基人曾利用太阳和行星的位置确定方位,开辟了从直布罗陀海峡远航大西洋的航线,发现了加那利群岛。公元前 6 世纪,腓尼基人通过红海,进行了环非洲的航行。公元前 5 世纪,出现了以地中海为中心的地图。公元 8 世纪~11 世纪之间,挪威人曾越过大西洋,发现了格陵兰和纽芬兰,并在那里从事渔业活动。

航线的开辟和航海活动的发展促进了人们对海洋现象的认识,其中突出的是对潮汐现象及其成因的认识。公元前 4 世纪,古希腊亚里士多德在《气象学》中记载了潮汐现象;古希腊皮西亚斯记录了大潮与小潮,发现了潮汐主要起因于月球。公元前 2 世纪,巴比伦赛留卡

斯在波斯湾对潮汐进行观察,并与地中海(几乎无潮汐)进行了比较,还发现波斯湾日潮不相等现象。公元前1世纪,古希腊波西东尼斯在加的斯观察潮汐,发现潮差受月球相位的影响。公元1世纪,中国王充明确地指出潮汐同月相的相关性。公元8世纪,中国窦叔蒙在《海涛志》中不仅指出了潮汐和月相的相关性,而且论述了海洋潮汐变化逐日、逐月、逐年的周期性,建立了现知世界上最早根据月球位置推算出每月和每天高、低潮的图解表。公元11世纪,中国燕肃在《海潮论》中分析了潮汐与太阳和月球的关系,潮汐的月变化以及形成钱塘江涌潮的地理因素等。

海洋生物知识随着航海的发展也积累起来。如公元前300多年,亚里士多德在《动物志》中记载了爱琴海170多种动物;公元前2~公元前1世纪,中国的《尔雅》除记有海洋动物外还有对海藻的记载。

古代海洋探险的另一大贡献是证实地球的形状。公元前5世纪,巴门尼德宣称地球是圆的;公元前250年左右,厄拉多塞尼计算出地球的圆周长为39 690 km,与地球的实际周长十分接近,并画出了地球的经纬线,提出了绕地球航海一周的想法;公元2世纪中叶,托勒密地图绘有海洋。他指出大西洋和印度洋同地中海一样,是闭合的大洋,并认为地球东西两点彼此十分接近,如果向西航行,则可以抵达东端。这一观念在1300多年后,启发了哥伦布的向西远航的设想。

2. 海洋地理考察阶段(从15世纪到18世纪末)

9~14世纪,欧洲经历了将近600年的黑暗时代,航海探险活动处于低潮,对海洋的认识也处于停滞状态,而阿拉伯国家和中国广泛地利用季风远航到东非、东南亚和印度等地,海洋知识得到了进一步的发展。15世纪起,欧洲资本主义的产生和发展刺激了海洋航海探险活动的开展和高涨,直至17世纪,开始了人类历史上的海洋探险时代,史称“地理大发现”时期。代表人物有哥伦布、伽马、麦哲伦等。在后期的海洋探险中,科学考察的成分逐渐增多,18世纪J. 库克的海洋探险,已属于科学考察的范畴。

(1) 地理大发现

15世纪末至16世纪初,葡萄牙和西班牙为打破意大利对东方市场和海上航路的垄断,竭力开辟新的海上航路。最先探寻通往印度新航路的是葡萄牙人。1416年亨利亲王创立的航海学校,推动了航海探险活动。1488年,B. 迪亚斯沿非洲西岸航行,最先发现好望角,并绕过非洲南端进入印度洋。1497年V. da 伽马沿迪亚斯航线继续东进,经非洲东海岸,于1498年到达印度,开辟了连接大西洋和印度洋的航线。

当葡萄牙人沿非洲海岸向印度探航时,西班牙航海家朝潮另一方向开辟新航路。意大利出生的C. 哥伦布受雇于西班牙,从1492年开始至1504年曾4次西航,到达美洲。哥伦布误认为所到之处是目的地——印度。哥伦布发现新大陆大大刺激了欧洲人的航海探险的热情。

1519年,葡萄牙人F. de 麦哲伦在西班牙政府资助下,率领船队作首次环球航行。他们从西班牙出发,渡过大西洋,于次年10月底经南美洲南端的海峡(后来被称为麦哲伦海峡),驶入浩瀚无际的太平洋。1521年3月,麦哲伦去世后,其副手继续航行,于1522年9月回到西班牙。麦哲伦的环球航行,第一次证实了地圆说。

16世纪,荷兰W. 巴伦支为探寻一条由北方通向中国和印度的航线,曾在北冰洋地区作了3次航行。17世纪初,英国H. 哈得孙曾屡次探索经北冰洋通向中国的航路。W. C. 斯霍特于1616年到达美洲南端的合恩角。荷兰A. J. 塔斯曼于1642~1643年环航澳大利亚

到达新西兰和塔斯马尼亚。这些航海在扩大、丰富海洋地理知识的同时,也或多或少做了一些有关洋流、风系等的科学考察工作,但直到英国 J. 库克的航海探险才真正拉开海洋科学考察的序幕。

(2) 库克航海探险

库克从 1768 年开始到 1779 年去世,曾 4 次跨越大洋进行海洋地理考察。在 1772~1775 年间,他首先完成了环南极航行,探索了南极冰圈的范围。库克是继哥伦布之后在地理学上发现最多的人,南半球的海陆轮廓很大部分是由他发现的。他在海上精确地测量经纬度,取得了大量表层水温、海流、大洋测深及珊瑚礁等科学考察资料。

(3) 海洋学成果

在这个阶段,海洋探险取得的成果极大地丰富了人类的海洋知识,为海洋学的建立准备了条件:

① 大洋流系方面。1497 年,意大利 J. 卡博特航行到纽芬兰,发现了拉布拉多寒流;1513 年,西班牙 A. de 阿拉米诺斯发现了墨西哥湾流;1595 年,荷兰 J. H. 范·林斯霍特编成了最早的航海志,叙述了大西洋的风和海流;1686 年,英国 E. 哈雷系统地研究了主要风系与主要海流的关系,后又阐述了海洋蒸发现象;1770 年,美国 B. 富兰克林制作并出版了墨西哥湾流图;1799 年,德国 A. von 洪堡发现了秘鲁海流等。

② 海洋潮汐研究方面。1687 年,英国 I. 牛顿用引力定律对潮汐性质作了精辟解释,奠定了海洋潮汐研究的基础;1740 年,瑞士 D. 伯努利提出平衡潮学说;1775 年,法国 P. S. 拉普拉斯创立潮汐动力学理论等。

③ 海洋生物研究方面。1551 年,法国 P. 贝隆等人解剖了海豚并进行了一系列的研究;1596 年,中国屠本峻撰写出海洋水产动物志《闽中海错疏》;1674 年,荷兰 A. van 列文虎克最先发现海洋原生动物;1685 年,英国 M. 利斯特出版《贝类学大纲》;1754 和 1758 年,瑞典林奈亲出版了《植物种志》和《自然系统》(第 10 版),为动、植物分类学奠定了科学基础。

④ 海图方面。中国的《郑和航海图》;哥伦布的部下 J. De La 科萨绘制的美洲海图;1521 年出现了与现代海陆分布相近的世界海图;1569 年 G. 墨卡托发明正轴等角圆柱投影制图法,奠定了航海制图的基础;1678 年出版了印度洋海洋图;1737 年出现了海底等深线图;1744 年陈伦炯在《海国见闻录》中附有一张中国沿海全图。

⑤ 海水盐度和蒸发方面。1670 年,英国 R. 波义耳在研究海水中盐度与密度关系基础上发表《海水盐度的观测和实验》,开创海洋化学的研究。1772 年,法国 A. L. 拉瓦锡首先测定了海水成分,发现水是氢和氧的化合物。

⑥ 海洋研究的技术和手段方面。这一时期先后发明了一些仪器和工具,如自记最低温度深海水温计、测深器、采水器和最低最高温度计等。

(二) 海洋学建立和发展时期(19~20 世纪 50 年代)

这个时期,世界性的海洋考察活动日益增多,海洋学领域的研究在深度和广度上都获得较大发展,并独立成为一门学科。这个时期可以分为两个大的发展阶段:“挑战者”号阶段和“流星”号阶段。

1. “挑战者”号阶段

通常称为“挑战者”号时代,包括整个 19 世纪,此时海洋科学考察从个体单项发展为综合性的,海洋学开始逐渐形成。这个阶段最重要的事件是英国“挑战者”号考察,此外还有“前

进”号北极海探险等。

(1) “挑战者”号以前的考察

19世纪初到1872年。这时的考察已不同于第一个时期的航海探险,最明显的特征是明确以海洋科学考察为主,但往往以个体单学科的考察为主。较为重要的考察和成果如下:

① 1831~1836年英国“贝格尔”号环球探险。它历时5年,经历了大西洋、印度洋和太平洋。英国科学家、生物进化论者C. R. 达尔文参加了这次考察。根据这次考察所得的资料,达尔文解释了珊瑚礁的成因,提出了有关海底运动的论述,并于1859年出版了《物种起源》。这次考察所获得的资料,由“贝格尔”号船长F. 罗伊和达尔文整理编纂成《“贝格尔”号航海报告》(4卷)。

② 1839~1843年英国J. C. 罗斯的南极海域探险。罗斯在27°16'S、17°29'W海域测得约4438m的深度,创造了当时深海测深的记录。同时,罗斯在南极海域的深海生物取样中,发现了与J. 罗斯数年前在北大西洋发现的同样的海底生物,从而提出了整个大洋的底层水具有相同特性的结论。J. C. 罗斯还发现了南磁极。

③ 1842~1847年,美国海军上尉M. F. 莫里系统地研究了大洋的风和海流,并根据这些记录绘制成海图,于1855年出版了《海洋自然地理学》,为人们提供了第一部海洋学经典著作。于1854年出版了第一幅北大西洋海盆的水深图,为铺设大西洋海底电缆提供了科学依据。

④ 英国海洋生物学创始人E. 福布斯对西欧、南欧、北非等海域的生物进行了多次考察和研究。他按照不同的深度将爱琴海分成8个带,第一次提出海洋生物分布的分带概念,认为深度越大,生物越少,550m以下为无生物带。1836年,C. G. 爱伦贝格发现欧洲大陆的许多岩石中都含有硅藻、海绵和放射虫等海洋生物残骸,认为生物大量沉积海底是形成这些沉积岩的原因,指出这样的沉积物现在还在形成。1860年“斗犬”号(Bulldog)在从地中海2200m深处打捞上来的电缆上,发现附有大量珊瑚类生物和软体动物。这一发现打破了福布斯关于海中550m以下是无生物带的结论。1868年,英国“闪电”号(Lightening)在设得兰群岛和法罗群岛之间海域1100m深处采集了大量的生物。1869~1870年,英国“豪猪”号(Porcupine)在爱尔兰西部、比斯开湾和法罗水道一带1800~4464m深水处取样16次,每次取样都获得相当多的生物,尤其是采到了被认为是白垩纪以后已经绝种的海胆。1872年C. W. 汤姆森根据“闪电”和“豪猪”号的考察结果撰写了当时权威的海洋学著作《深海》。

⑤ 19世纪50年代以后,铺设海底电缆的工作促进了海洋测深的调查。1856年,铺设海底电缆专用调查船“阿尔奇克”号在北美东岸和爱尔兰西岸之间进行了测深,确认了北大西洋中央海脊的存在,并建议沿这条海脊铺设海底电缆。1857年“独眼巨人”号、1858和1860年“戈尔岗”号、“斗犬”号先后在北大西洋进行了测深调查。

(2) “挑战者”号环球考察

在英国皇家学会的支持下,C. W. 汤姆森率领“挑战者”号于1872年12月启航,1876年5月返航。三年半的时间共航行12万多千米。在太平洋、大西洋、印度洋和南极海数百个站位进行了测深、测温、采水、取样、拖网等,采集到大量海洋生物标本、底质标本以及海水样品。这次航海采集到很多深海珍奇动物标本,包括夏威夷群岛北方海域5500m以下的动物,测得太平洋马里亚纳海沟的深度数据(8180m)。

“挑战者”号考察不但开创了海洋综合调查的时代,而且获得了十分丰富的海洋资料。几

十位科学家潜心研究了 20 多年才完成考察报告的编写,共计 50 卷、29 500 多页,为海洋学的建立奠定了坚实的基础。在海洋生物方面,发现 4 400 多个新种,提供了从表层水到海底的海洋动物学知识。在海洋地质方面,重要成果是发现了深海软泥和红粘土,并采集到了锰结核。在海洋物理方面,除了调查海流和气象外,主要成就有:① 根据地磁测定的结果,掌握了航海罗盘仪的偏差;② 绘制了等深线图;③ 发现 180 多米以下的水温受季节影响不大,温度变化极小;④ 认为大洋底的水温在大范围内基本相同,但在不同的海区也显示出特定的值;⑤ 确定了岛屿和险岩准确的位置。在海水化学方面,W. 迪特马对海水进行了全面的、完整的分析,从理论上证实了 J. G. 福希哈默尔于 1865 年提出的不论海水中含盐量的绝对值大小如何,其各种主要化学成分之间的相对含量是恒定的原理。在“挑战者”号进行观测以前,一般都认为深海海水相对密度很大,投入海里的重物不会沉入海底。“挑战者”号考察否定了这一论点。

“挑战者”号考察激起了各国海洋考察的热潮,德国“羚羊”号(1874~1876)、俄国“勇士”号(1886~1889)进行了环球考察,奥地利“极地”号(1890~1898)在红海和地中海考察,美国“布莱克”号在加勒比海考察(1877~1886),但其中最为著名的是挪威海洋学家 F. 南森的北极海探险。

(3) 南森北极海探险

1893~1896 年南森率探险船“前进”号进行北极海(即北冰洋)漂流考察,取得了 3 项主要成果:① 南森和 V. W. 埃克曼共同研究,阐明了“死水”现象的发生是内波作用所致。② 发现在深海海域,风向与表层流的流向不一致时,风海流较风向偏右 $30^{\circ}\sim 40^{\circ}$ 。根据“前进”号测量结果,埃克曼于 1905 年建立了著名的风海流理论。③ 发现盐度较高的大西洋水潜入了北冰洋的中层,而在北冰洋 -1.5°C 的中冷水下方 360~460 m 深处,潜入了温度为 1°C 的大西洋水。根据这次调查,南森发明了颠倒采水器,一直沿用至今。探险结束后,南森及其同事撰写了《挪威人的北极探险》(6 卷)。阐述了北冰洋的流动状况,海冰生成、发展、破坏以及溶化的过程。

2. “流星”号阶段

20 世纪初期到中期。在这个阶段,综合性海洋考察普遍开展,各种电子技术和近代科学方法得以采用,极大地促进了海洋调查的深入和发展,进而推动了海洋学的发展。海洋学成为一门独立的科学,其标志是德国“流星”号考察和 H. U. 斯韦尔德鲁普等的名著《海洋》(3 卷)的问世。这一阶段较为重大的事件还有:1902 年国际海洋考察理事会(ICES)的成立,瑞典“信天翁”号考察,丹麦“铠甲虾”号考察和前苏联“勇士”号考察等。

(1) 德国“流星”号考察

1925~1927 年,德国“流星”号(Meteor)考察船对南大西洋进行了历时 27 个月的调查,这是继英国“挑战者”号之后的又一次划时代的科学考察。这次考察以海洋物理学为主,采用了各种电子技术和近代科学方法,以观测精确著称。它首次应用电子回声测深仪,获得了 7 万个以上的海洋深度数据;首次清晰地揭示了大洋底部起伏不平的轮廓;揭示了海洋环流和大洋热量、水量平衡的基本概况。出版了 16 卷考察报告,包括海底、海洋物理、海洋化学、海洋生物、海洋气象,以及内波观测等内容。

1929~1935 年和 1937~1938 年,“流星”号还分别在冰岛海域和东北大西洋进行了调查,弄清了极峰带的复杂海况。通过几个国家反复的同步调查,清楚地绘制出墨西哥湾流的

续流。

(2) 瑞典“信天翁”号考察

1947~1948年,瑞典国立海洋研究所所长 H. 彼得松率领 12 名科学家乘坐“信天翁”号(Albatross)考察船进行深海调查。这次调查历时 15 个月,航程 13 万 km,重点进行了大西洋、太平洋、印度洋赤道无风带的深海观测,以补充英国“挑战者”号调查船无法在无风带区域进行深海观测的空白。“信天翁”号调查、观测了南北纬度 20°以内的赤道海流系,研究了深海的光学性能。同时使用活塞式柱状采样器,可取长 23 m 的岩心,发现深海沉积层中有第四纪气候变动旋回的记录;利用地层剖面仪调查了大洋沉积物的厚度;用放射性同位素测出沉积物的生成年代和沉积速率。此外,在浊流、底层水化学、海底地壳热量测定等方面也有所贡献。“信天翁”号的调查,为深海地球物理研究开创了先例。

(3) 丹麦“铠甲虾”号深海考察

为了进一步研究深海生物,丹麦“铠甲虾”号(Galathea)调查船于 1950 年 10 月至 1952 年 9 月,周航世界进行海洋调查。考察队在海底取样时,使用了 12 000 m 长的钢丝绳,从大于 10 000 m 深的菲律宾海沟的底质中,采集到大量的活体微生物。1951 年 7 月,在 10 190 m 深的海底石块上和附近海域采集到白色海葵、美丽的红虾、发光鱼、水母、沙蚕类动物等,证实在 1 万 m 的深处也栖息着生物;从 3 400~7 200 m 的深海采集到大量乌黑的鱼、青白的海星、海参、虾、长腿蟹等珍贵生物,还采集到被人们认为早已绝种的“活化石”新蝶贝(*Neopilina*)。根据采集到的样品,他们发现生活在大于 7 000 m 深的超深海动物与来自于 2 000~3 000 m 深的海域和大陆坡的动物种不同,能够适应巨大的水压。在这次考察中,还首次采用¹⁴C法测定海洋生物初级生产力,并测量了深海地磁。

(4) 前苏联“勇士”号太平洋考察

1949~1958年,“勇士”号(Витязь)主要在太平洋考察。“勇士”号在考察中进行了测深,更正了远东近海和太平洋水深图,还发现了一些断裂带、海底山脉、海山等。在马里亚纳海沟发现了世界最深的查林杰海渊为 11 034 m;在千岛—勘察加海沟发现了深海渊(10 382 m)。在考察中取得了 40 m 长的海底柱状样品,分析研究了长达 1 000 万年的地质史,发现了深层水在不断流动,并在 1 000~3 000 m 的深度上测量到速度高达 30 cm/s 的强大层流;弄清了深海水强烈的垂直混合和数千米规模的浮游生物的垂直移动。调查结果表明,在 1 万米以深的最深海沟处,也有许多种生物存在。1959 年以后,“勇士”号还在印度洋从事考察。

(5) 其他考察

在这个阶段还有美国“卡内基”号、“鹦鹉螺”号、“贝尔德”号、“地平线”号,挪威“莫德”号,德国“高斯”号,丹麦“丹纳—I”和“丹纳—II”号,法国“法兰西人”号和“帕斯”号,英国“发现—I”和“发现—II”号、“斯科列斯比”号、“挑战者—8”号,前苏联“西伯利亚科夫”号和“谢多夫”号破冰船、“罗蒙诺索夫”号、“鄂毕”号等,从事海洋考察活动。

(6) 主要成果

在海洋考察的基础上,海洋学研究和理论取得了很多成果。例如,摩纳哥阿尔贝大公一世的《大洋水深图》(1904),V. W. 埃克曼的风海流理论(1905),A. L. 韦格纳的“大陆漂移说”(1912),A. 霍姆斯的“地幔对流说”(1929),W. M. 尤因首次进行海洋地震测量(1935),S. 埃克曼发表《海洋动物地理学》(1935),J. P. 雅科布森和 M. H. C. 克努曾提出海水氯

度新定义(1937),H. H. 赫斯发现海底平顶山(1946),C. E. 佐贝尔出版《海洋微生物学》(1946),H. U. 斯韦尔德鲁普的大洋环流理论(1947),H. M. 施托梅尔的“西部边界流理论”(1948),F. P. 谢波德的《海底地质学》(1948),W. H. 蒙克的“大洋漂流理论”(1950)等。其中斯韦尔德鲁普等人撰写的巨著《海洋》(1942)对这阶段的成果作了较全面、深刻的概括。

(三) 现代海洋科学时期(20世纪50年代以来)

50年代后期以来,海洋调查研究工作进入了一个全新的历史时期。1957年国际科学联合会理事会下属的海洋研究科学委员会(SCOR)和1960年联合国教科文组织的政府间海洋学委员会(IOC)建立后,积极组织和协调各国的海洋考察,开展各会员国之间及与其他世界组织的学术交流,制订各海区中长期海洋研究计划,有力地促进了世界海洋考察、研究的发展。其中最重要的计划是海洋勘探与研究长期扩大方案(LEPOR)。它制订于1969年,以10年为一个阶段,分期执行,其第一期计划即国际海洋考察十年,已取得重大成果。另一个突出的考察活动是深海钻探计划。这个时期的海洋考察有两个显著的特点:①国际合作进行大规模的海洋考察;②现代化立体观测技术系统在海洋考察中得到广泛的应用。

1. 海洋调查国际合作

大规模的国际联合海洋考察活动,主要有以下几项:

国际地球物理年(IGY):1957年7月至1958年12月,以国际大地测量学和地球物理学联合会(IUGG)为中心,数十个国家在南北极和赤道地区联合进行了一项旨在深入认识地球的第一次国际合作调查计划。观测项目涉及到地球科学的各个领域。对海洋也进行了综合调查,内容包括地球物理学、潮汐、深海环流、全球气候等。

国际印度洋考察(IIOE):1959~1965年,23个国家在政府间海洋学委员会的协调下,先后派出40多艘海洋调查船,在整个印度洋海域进行了一次大规模的联合调查。这个调查不仅获得了印度洋海底地形图和生物生产力分布图,而且在许多方面有重要的发现。如发现世界夏季最强的索马里海流(7节),红海底的高温(52℃)高盐(25%)的热点,季风末期出现的赤道潜流等。

热带大西洋国际合作调查(ICTIA):1963~1965年,由多国参加,采用多船同步调查,第一次使用浮标阵观测,其结果验证了大洋环流模式和理论。

黑潮及邻近水域合作研究(CSK):1965~1977年,十多个国家或地区参加的联合调查。目的在于了解和研究黑潮及其时空变化,成果以3卷本的黑潮学术讨论会论文集《黑潮》为代表。

深海钻探计划(DSDP)从1968年8月开始实施至1983年结束。15年中直接钻取了大量洋底沉积层和玄武岩样品,提供了各主要大洋盆地的年代、洋底结构、矿产资源和大洋沉积等方面的丰富资料,对洋盆的形成和演化史作了总结性概述,成为现代海洋地质科学发展的一项壮举。

国际海洋考察十年(IDOE)从1971年开始执行,1980年结束。该项计划有力地推动了海洋科学从描述性的工作向实验性和理论研究的转变。在这10年期间,物理海洋学的研究集中于世界大洋内流体的运动、结构与成分,以及它与大气及其边界的作用。如中大洋动力学实验(MODE)和多边形中大洋动力学实验(POLYMODE)以及北太平洋实验(NORPAX)等;地球化学海洋断面研究(GEOSSES)等化学海洋学的研究结果,弄清了大洋

化学物质的时空变化,进行了大洋中化学物质的全球性观测,研究了化学物质与海洋生物圈的相互作用;生物海洋学主要进行了沿岸区上升流生态系分析(CUEA)和海草生态系研究(SES),同时控制生态系污染实验(CEPEX)研究了海洋生态系统受到添加污染物的影响;地质工作者致力于认识地球岩石圈板块扩张中心,大陆边缘和深洋盆的地质过程,特别注意研究矿藏的发育形成过程。通过“东亚构造和资源计划”(SEATAR)研究了板块活动边缘,通过“锰结核计划”对赤道北太平洋锰结核作了研究,通过“远期气候调查、测绘和预报”(CLIMAP),对深海沉积物的研究分析,研究了造成大气与海洋中气候变化的物理机制,着重研究 18 000 年前地球最近一次冰期时的大洋环流及其与大气的对应现象。研究表明,地球最近一次冰期,大洋表面的平均水温比现在低 2.3 ℃,在一些赤道海域平均低 6 ℃。这些资料为评价未来气候各种变化效应提供了基础。

法摩斯计划(FAMOUS)是“法美联合大洋中部海下考察计划”的简称。在这项计划中,科学家乘坐“阿尔文”号等潜水器多次深入洋底裂谷考察,使人类首次直接观测到新形成的海底断裂和熔岩流,准确地绘制出大尺度和小尺度的海底地形地质图。这项计划的一项最大成果是证实了火山活动使地球深处的新物质沿着海底大裂谷的中线喷发出来,从而不断地更新地壳,为海底扩张说,新地壳的形成过程以及矿物同海底热液的关系提供了新的资料。

2. 海洋立体调查系统的建立

直到 20 世纪 60 年代初,传统的海洋调查船基本是由旧军舰、商船或货船改装成的。但到了 60 年代中期以后,各国开始设计建造了专以海洋研究为目的的调查船,为海洋科学研究提供理想的平台。为开展对深海的研究,海洋学家们设计出各种海洋调查潜水器、水下实验室,使人们有可能下潜到深海亲自观测和取样。最有代表性的潜水器是美国“阿尔文”号,它曾多次下潜到几千米深的海底热泉口进行观测。研究海洋历史需钻取海底岩心,在 20 世纪 20 年代只能钻取 1 m,30 年代为 5.6 m,70 年代就可获得 200~300 m 未扰动的连续沉积岩心,从而使海洋调查研究的能力由海面深入到海底和海底以下。同时,研究海洋的手段扩大到太空。在 60 年代初,利用气象卫星开始从太空监测海洋。1978 年美国发射专用海洋卫星(Seasat),所收集到的大量海洋资料至今仍有价值。这样在 70 年代,海洋调查已由过去的单一调查船,扩大到空中飞机、卫星、海面研究船、浮标、水下潜水器、海底实验室、海底深钻取样的立体观测系统。另外,许多新技术,如电子计算机技术、红外技术、微波技术、声学技术、激光技术、遥感遥测技术和深潜技术等,在海洋调查研究中的直接应用,和一大批先进的海洋观测仪器,如盐温深测量仪(CTD)、抛弃式温深计(XBT)、电磁海流计、声学海流计、精密回声测深仪、侧扫声呐、水下摄影机和地球物理调查仪器等,使海洋调查研究的能力取得了长足的进步,从而促进了海洋科学的迅速发展。

这一时期的成果主要表现在以下几个方面:① 发现了大洋中尺度涡,向漂流理论提出了挑战,使海洋环流研究从气候学尺度(平均状况)进入了天气学尺度;② 确认了海洋在全球气候变化中的重要作用,开始了以了解大尺度海-气相互作用为中心的全球性研究;③ 大量的海洋地球物理测量,获得了丰富的海底构造资料,尤其是对大洋中脊又有了新的发现,为大陆漂移说的复苏和板块构造说的建立提供了依据;④ 深海钻探计划验证了海底扩张说,揭示了板块构造运动的历史,开创了“古海洋学”这门新学科,使海洋地质学研究进入了一个新的时期;⑤ 地球化学海洋断面的研究为地球化学研究开创了新的局面;⑥ 海洋环境保护问题被人们充分认识,制定了海洋污染监测计划(MARPOLMON),海洋环境保护成为

海洋考察的重要内容；⑦ 海底热泉口周围发现的大批海底生物，为海洋生物生产力的研究开辟了新领域。

自 80 年代开始，又实施了以下几项大型国际合作计划：

① 世界大洋环流试验(WOCE)，采用多种手段研究全球尺度的大洋环流及其所输送的热量对气候的影响，以获得建立海洋-大气系统总环流模式所需的资料。② 热带大洋及其与全球大气的相互作用(TOGA)，研究世界范围内的气候异常过程和原因，大尺度海-气相互作用，以求改进气候预报。③ “大洋钻探计划”(ODP)，在深海钻探计划的基础上，将钻进洋底更大的深度，为大洋岩石圈和古海洋学研究提供更多资料。④ 全球海洋通量联合研究(JGOFS)，研究全球尺度上海洋对碳的贮存、转移能力，预测人为 CO₂ 对世界气候的影响。⑤ 海岸带陆-海相互作用(LOICZ)，研究全球范围内陆-海作用的通量，确定人为活动对海岸影响程度。⑥ 全球海洋生态系统动力学(GLOBEC)，研究全球海洋生态系统及其主要亚系统的结构与功能以及它对物理压力的响应，预测海洋生态系统对全球变化的响应能力。实际上后三个目标计划都是国际地圈生物圈(IGBP)计划的重要组成部分，这些大型国际计划的实施使国际海洋学发展到了一个新阶段，即全球联合综合研究阶段。

二、中国海洋学的发展

中国东南两面濒临海洋，大陆海岸线北起辽宁省的鸭绿江口，南至广西壮族自治区的北仑河口，长达 18 000 多千米，是世界上海岸线最长的国家之一。渤海、黄海、东海和南海，是西北太平洋的边缘海，总面积达 473 万多平方千米。在辽阔的中国海域，大小岛屿计有 6 000 余个，总面积 8 万多平方千米，约占中国陆地国土总面积的 0.8%。中国海域自 3°~41°N，跨越热带、亚热带和温带三大气候带，海洋生物资源十分丰富，近海大陆架蕴藏着丰富的油气资源，浅海滩涂是建场晒盐、发展海水养殖的优良场所。

中国是世界上利用海洋最早的国家之一。古人很早就已从海洋获取“渔盐之利”和“舟楫之便”；同时不断地观察和认识海洋，积累了大量的海洋知识，其中，对一些领域的观察和研究在历史上曾有过辉煌的成就。但是，由于封建统治阶级的腐朽没落，特别是第一次鸦片战争失败以后，帝国主义的入侵和掠夺使中国逐步沦为半殖民地半封建国家，所以中国近代海洋科学的研究进展缓慢。20 世纪 50 年代以来，中国的海洋科学研究逐步展开，并取得了大量成果，为开发利用海洋资源，振兴经济，作出越来越多的贡献，1996 年，我国海洋产业总产值已达 2 800 多亿元。

(一) 古代中国对海洋的认识

我们的祖先在远古已开始海洋捕捞。山东省胶县发现的新石器时代大汶口文化遗址中，有大量海鱼骨骼和成堆的鱼鳞，经鉴定，它们分别隶于鳊鱼、梭鱼、黑鲷和蓝点马鲛等 3 目 4 科，说明约在 4 000~5 000 年以前，中国沿海先民已能猎取在大洋和近海之间洄游的中、上层鱼类，人们对海洋鱼类习性的认识已有一定的水平。记述公元前 11~公元前 6 世纪周朝情况的《诗经》中多次出现“海”字，并有江河“朝宗于海”的认识。西汉时期，已开辟了从太平洋进入印度洋的航线。据记载，三国时出现了中国第一篇潮汐专论——严畯的《潮水论》(已佚)。唐宋时期，中国的潮汐研究已达到很高水平。明代时，出现了中国现存最早的地区性海产动物志——屠本峻的《闽中海错疏》。1405~1433 年，明朝郑和 7 次下“西洋”，最远到达赤道以南的非洲东海岸和马达加斯加岛，比哥伦布从欧洲到美洲的航行(1492~1504)要早半