

中国近海 生物地球化学

自 20 世纪 80 年代以来实施的全球性研究计划“中国近海生物地球化学”项目，旨在研究中国近海生物地球化学过程，并作为其生态基础。为此，中国科学院海洋研究所组织编写了《中国近海生物地球化学》一书，该书系统地总结了我国近海生物地球化学的研究成果，并作为我国近海生物地球化学研究的参考书。本书共分 10 章，主要介绍了中国近海生物地球化学的研究现状、研究方法、主要成果及存在的问题。本书可作为从事海洋生物地球化学研究的科研人员、研究生及从事海洋生物地球化学工作的工程技术人员参考。

ZHONGGUOJINHAI SHENGWU DIQIUHUAXUE

王金明 著

SHENGWU DIQIUHUAXUE



山东科学技术出版社
www.lkj.com.cn

山东省泰山科技专著出版基金会资助出版

中国近海生物地球化学

宋金明 著

山东科学技术出版社

图书在版编目 (CIP) 数据
中国近海生物地球化学 / 宋金明著. — 济南 : 山东科学技术出版社, 2004.12
I. 中... II. 宋... III. 近海 原生物地球化学 原中国 IV. ①Q949
中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 12345 号

山东省泰山科技专著出版基金会资助出版
中国近海生物地球化学
宋金明 著

出版者 山东科学技术出版社
地址 济南市玉函路 1 号
邮编 250014 电话 : (0531) 83622222
网址 : [www.sdtech.com.cn](#)
电子邮件 : [sdtech@sdtech.com.cn](#)
发行者 山东科学技术出版社
地址 济南市玉函路 1 号
邮编 250014 电话 : (0531) 83622222
印刷者 山东新华印刷厂
地址 济南市胜利大街 1 号
邮编 250012 电话 : (0531) 83622222

开本 : 787mm×1092mm 1/32
印张 : 10
字数 : 200 千字
版次 : 2004 年 12 月第 1 版第 1 次印刷
陈景润数学竞赛题原载 孕猿
定价 : 20.00 元

作者简介



宋金明,男,海洋化学家,博士、研究员、博士生导师,国家杰出青年科学基金、中国科学院“百人计划”、“中国青年科技奖”与国务院政府特殊津贴获得者。

现任中国科学院海洋研究所所长助理、中国科学院海洋研究所海洋化学研究中心主任、中国科学院研究生院教授、中韩黄海环境联合研究中方首席科学家,兼任中国海洋湖沼化学会理事长、中国海洋化学会副理事长、青岛市海洋化工行业技术中心主任。

1959年 9月出生于河北省枣强县,1982年毕业于长春地质学院(现吉林大学)并获应用化学工学学士学位,后在中国科学院海洋研究所获硕士和博士学位。1984-1986年以高级访问学者身份在加

拿大不列颠哥伦比亚大学留学并进行合作研究。

自1982年以来,主持和参加完成的科研项目 100余项,其中国家自然科学基金项目 20项,中国科学院重大项目 20项,国家 863 计划及攻关项目 10项,其他项目 50项。目前正在执行的项目 20项,包括国家杰出青年科学基金项目、中国科学院创新重大项目、中国科学院“百人计划”项目等。至今已发表学术论文 100余篇,出版专著 10部,科普著作 10部。

因对海洋化学多方面创新性的重大贡献而获国家、省级重大科技成果奖 10余项。1985年被中共中央组织部、国家人事部、中国科协授予“中国青年科技奖”,同年获山东省委组织部、山东省人事厅、省科协授予的“山东省青年科技奖”。1988年获国务院政府特殊津贴,同年被中共青岛市委、市政府评为“青岛市青年学术、工程技术带头人”。1990年入选中国科学院“百人计划”,当选“青岛市十大杰出青年”。

代表性论著:

《中国近海沉积物 原海水界面化学》,海洋出版社,1992

《中国的海洋化学》,海洋出版社,1990

内 容 简 介

作为国家杰出青年科学基金(号:49254150)主体成果和中国科学院知识创新工程重大项目(主任:李金发,项目号:KJ951-A1-01)部分成果体现的《中国近海生物地球化学》,分四篇十二章,第一次系统地论述了中国近海主要生源要素碳、氮、磷、硅、氧、硫等的生物地球化学过程,是第一本有关中国近海生物地球化学的学术专著。

该书内容涉及中国近海主要典型海域的陆架生态系、河口生态系和珊瑚礁生态系,在不同的海域有不同的侧重:渤海主要研究沉积物中氮、磷、硅的迁移、转化特征;黄海、东海主要研究海水中碳、氧同位素的分布变化、生态环境演变和碳源汇的强度;南海与南沙珊瑚礁生态系则主要研究南海北部生源要素的生物地球化学及沉降颗粒物中生源要素与非生源要素的循环过程。该书提出了一些新的理论观点,如海洋表观碳源汇与实际碳源汇、维持珊瑚礁生态系高生产力原因——拟流网理论、珊瑚奢侈消费营养盐、沉积物自然粒度下形态研究等。创新性是该书的最大特色。

该书可供从事化学海洋学、海洋地质学、海洋生态学、环境科学等科研工作者和高等院校师生阅读、参考。

韵云悦匀隅粤蕕萼杂

禁烟部

茶 粵 韻 彙 部 雜 韻 韻 彙 粵 韻 耕 稅 粵 韻 韻 彙 領 再 孕 韻 彙

序

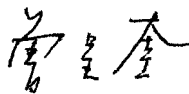
全球变化研究是世界各国都非常关心的科学问题。中国近海生物地球化学过程研究是全球气候变化与全球生态环境变化研究区域性响应的核心科学问题之一,涉及中国近海主要海域的典型海洋生态系,是全球变化研究的重要组成部分,具有重要的科学意义。全球海洋变化研究是 20 世纪 80 年代国际海洋科学的最新课题,而海洋生物地球化学研究作为其前沿,近几年才得到迅速发展。宋金明博士一直致力于这方面的研究,该书就是他领导的课题组所获成果的总结,是我国第一部有关中国近海生物地球化学的专著。

创新是科学研究的生命线,没有创新,科学研究也就失去了它本应有的意义。这部著作提出了许多创新的理论、观点,特别是在揭示海洋生源物质循环的规律上有较大进步。科学在走向综合,多学科相互交叉、渗透、整合是科学发展的趋势。该书就是这一趋势的典型体现。

科学研究的严谨性决定了研究成果的高水平。宋金明博士十几年如一日,踏实肯干,他突出的特点是特别重视野外调查,亲自出海采集样品,获得第一手资料,足迹数次遍及渤海、黄海、东海、南海及太平洋,经过精心分析研究,得出中国近海生源要素的变异规律。这种严谨的科学态度,不仅使所获资料具有坚实的可靠性,而且使这部专著具有了更深的内涵,保证了学术的高水平。

宋金明博士是中国科学院海洋研究所一位优秀的青年科技工作者,是国家杰出青年科学基金与“中国青年科技奖”的获得者,他工作积极努力,学术上刻苦钻研,获得了许多开创性的研究成果。他 1994 年出版的专著——《中国近海沉积物-海水界面化学》,1995 年即获得了中国科学院自然科学奖,充分证明了他的学术水平。海洋科学研究有宋金明这样的青年人,我感到欣慰。青年人勇于创新、奋力开拓,可喜可贺。特此为序。祝愿该书的出版能为促进我国海洋科学研究水平的提高和让世界了解我国的研究进展做出贡献。

中国科学院资深院士



序

近年来,作为地学学科前沿的海洋生物地球化学得到了迅速发展,它与全球气候变化和全球生态环境变化的研究息息相关。宋金明博士一直致力于这方面的研究,该书就是他和她领导的课题组所获成果的总结。该书选题新颖,站在了学术领域的前沿。

20世纪80年代开始实施的全球性研究计划,推动了海洋生物地球化学过程研究的发展,同时海洋生物地球化学过程研究成为其中的研究热点。从此,世界各国不同学科的科学家致力于此研究,并取得了该领域前所未有的进步,突出地表现在两个方面:海洋学研究实现了空前的学科交叉,海洋学过程研究获得了显著的进展。尽管海洋学过程异常复杂,但运用海洋生物地球化学的观点、方法和通过多学科集成,已使过去非常模糊的这些过程较清晰地展现在人们面前。现在,恐怕很少再有人用单纯学科的观点去解决海洋学的问题了。全球海洋变化研究集中于海洋对气候的影响和控制作用、全球海洋生态环境变化,全球海洋变化研究由区域海洋变化研究组成。因此,全球海洋变化的区域性响应是全球变化研究的具体体现,也是各国科学家研究的落脚点。作为边缘海的渤海、黄海、东海和南海,具有十分独特的环境特征,海域从陆架海到半深海,从温带到热带,并有世界著名的大河流输入,沿岸有经济较发达的人口聚集区。中国边缘海几乎包括了各类典型的海洋生态系统,如河口生态系、陆架生态系、上升流生态系、珊瑚礁生态系和红树林生态系等。因此,中国近海是研究海洋生物地球化学过程的理想海域。可喜的是,十几年来,我国的海洋科学工作者陆续对中国近海的生物地球化学过程进行了一些研究,使我国的海洋生物地球化学研究有了长足的进步和发展,该书就是这方面的代表。

《中国近海生物地球化学》系统地研究了中国近海主要生源要素碳、氮、磷、硅、氧、硫等的生物地球化学过程,是第一本有关中国近海的生物地球化学专著。它涉及中国近海主要典型海域的陆架生态系、河口生态系和珊瑚礁生态系,在不同的海域有不同的侧重。渤海主要研究沉积物中氮、磷、硅的迁移、转化特征,黄海、东海侧重研究生态环境与海水中碳、氧同位素的分布变化,而南海与南沙珊瑚礁生态系则主要研究沉降颗粒物中生源要素与非生源要素的循环过程。书中提出了一些新的理论观点,如维持珊瑚礁生态系高生产力原因——拟流网理论、沉积物自然粒度下形态研究等。该书的成果必将为深入开展海洋生物地球化学过程研究起到重要的促进作用,同时为海洋资源可持续利用战略的制定提供理论依据。我愿向海洋科学界和环境科学界的同行们推荐这本有重要学术意义的专著。

中国科学院院士

秦蕴珊

序

揭示以碳为核心海洋生源要素的海洋生物地球化学过程是全球变化重大国际计划
限月中 即 瑞月 说, 瑞瑞在, 瑞瑞云, 瑞瑞云 的核心科学问题, 其科学意义不仅会导致人类对
自然科学规律认识上的重大突破, 而且将对解决人类面临的人口、资源、环境的重大科学
问题产生巨大影响。

气候变暖主要是与人类活动排入大气的温室气体增加有关。据估计, 地球上燃烧矿
物排放的 情, 每年大约为 逐亿 吨, 其中约有 员 吨 停留在大气中, 其余的相当部分为海洋所
吸收。但是, 海洋究竟能吸收多少, 吸收机制怎样, 迄今还不很清楚。同时, 海洋巨大的热
容量和通过环流的热量输送, 可以调节改变地球大气中热量的地理分布格局, 减小不同纬
度上的温度差异, 大量海水蒸发过程, 使海洋与大气之间进行着巨大的潜热交换和水量交
换, 所有这些过程无一不影响化学物质的循环过程。海洋记忆着过去的气候变化信息, 调
节控制着现在的气候变化, 一旦出现激发气候变化的异常外界扰动, 它便起着缓冲器的作
用, 延迟并减缓这种扰动的效应。因此, 要了解和预测气候的长期变化, 必须研究海洋对
碳的吸收转移能力, 研究海洋与大气间的耦合作用。具体地说, 与全球变化有关的海洋学
过程研究包括两大范畴的机理研究, 即与全球气候变化有关的海洋学过程、与全球生态环
境变化有关的海洋学过程, 这两大研究范畴涉及的对象都是以碳为核心的生源要素, 或者
说是与生物过程有关的化学物质, 所以以碳为核心的生源要素的海洋生物地球化学过程
是这两大范畴的核心。

近海陆架区域是开展与全球变化有关的生物地球化学过程研究的主要海域。我国近
海陆架是世界上最宽的陆架之一, 具有独特的区域海洋学特征。在这个区域中, 不仅有许
多上升流和锋面区, 而且有三条大河——黄河、长江、珠江注入其中, 入海输沙量占全世界
总入海河输沙量的 圆豫。有人估计, 全球大洋沉积物中 员豫 来自黄河和长江, 如此巨量
的颗粒物质和富含碳酸盐的河水入海, 以及中国海广阔陆架的初级生产活动, 无疑对全球
海洋碳及有关生源要素为中心的海洋通量、收支平衡、海水的物理化学性质、生态环境和
海洋沉积过程都有重要影响。因此, 揭示陆架区生源物质循环及输送的机制, 研究海洋生
物生产产物的代谢过程, 建立近海和大陆架区域的生源要素循环科学体系, 不仅将给我国
环境保护、资源合理开发带来直接的利益, 也将为世界近海区域的生物地球化学过程研究
做出贡献。

近几年来, 非常可喜的是我国的科学家在海洋生物地球化学过程研究上取得了一系
列重要进展。《中国近海生物地球化学》就是在这一背景下的典型代表, 它是宋金明博士
领导的课题组在这方面系统研究所获成果的总结, 也是第一部有关中国近海的生物地球

化学专著,它的出版必将为我国海洋生物地球化学学科的建立奠定基础。书中大部分内容都是创新性的研究成果,有一系列的创新性理论和观点,将对我国海洋科学的发展产生影响。当然,作为新兴前沿的研究成果也不可能十全十美,书中的新理论、新观点需要时间的检验和大量调查数据的验证,但这丝毫不影响它的巨大科学价值。我愿把这本书推荐给大家。

中国工程院院士

前言

《中国近海生物地球化学》是 1993 年立项的国家杰出青年科学基金项目(葛增祥原项目)“近海沉积物-海水界面化学过程与生源物质循环”的主体研究成果,以及 1995 年立项的中国科学院知识创新工程重大项目(葛增祥原项目)“近海生态系统碳循环过程研究”的部分研究成果,它是项目组经过近四年的刻苦努力,并结合了前十年的研究积累倾力完成的。这是我国第一部有关中国近海生物地球化学的专著,它标志着我国海洋生物地球化学学科的形成与建立,并为其后的研究奠定了基础。

自 20 世纪 80 年代开始实施的全球性研究计划,把海洋生物地球化学这一海洋学研究的核心推到了全球变化研究的前沿,并成为其中的聚焦点。从此,世界各国不同学科的科学家致力于此研究,十几年来取得了该领域前所未有的进步,突出地表现在两个方面,即海洋学研究实现了空前的学科交叉,海洋学过程研究获得了从未有过的系统的结果。尽管海洋学过程异常复杂,但运用海洋生物地球化学的观点、方法和通过多学科的集成,已使过去非常模糊的这些过程较清晰地展现在人们面前。现在,恐怕很少再有人用单纯学科的观点去解决海洋学的问题了,可以这样说,十几年海洋学研究的进步在很大程度上体现在海洋生物地球化学的发展上。全球海洋变化研究集中于海洋对气候的影响和控制作用、全球海洋生态环境变化,全球海洋变化研究由区域海洋变化研究组成。全球海洋变化的区域性响应是全球变化研究的具体体现,也是各国科学家研究的落脚点。我国是一个海洋国家,作为中国边缘海的渤海、黄海、东海和南海具有十分独特的环境特征,海域从陆架海到半深海,从温带到热带,并有世界著名的大河流输入,沿岸有较发达的人口聚集区。中国边缘海包括几乎全部的典型海洋生态系统,如河口生态系、陆架生态系、上升流生态系、珊瑚礁生态系和红树林生态系等。因此,中国近海是研究海洋生物地球化学过程理想的海域(图版 1)。可喜的是,十几年来,我国的海洋科学工作者陆续对中国近海的生物地球化学过程进行了一些研究,使我国的海洋生物地球化学研究有了长足的进步和发展,但这些研究由于项目立项时的具体限制,相对于海洋生物地球化学研究所要求的内容来说显得单调而不系统,缺乏对中国近海生物地球化学的综合研究。《中国近海生物地球化学》在这种背景下应运而生。

本书分四篇十二章。

第一篇阐述了生物地球化学产生与发展的历程、海洋生物地球化学研究的主要进展,特别阐述了海洋环境中碳、氮、磷、硅等生源要素的生物地球化学过程。这是目前海洋生物地球化学作为独立学科最系统的论述。

第二篇研究的对象是渤海沉积物中的氮、磷、硅。海洋沉积物是生源要素氮、磷、硅的主要源与汇,在氮、磷、硅的循环中起着非常重要的作用,但到目前的认识也仅此而已,究竟起多少作用和起多大的作用就不清楚了。本篇抓住这个重大科学问题,在一个全新的

粗颗粒沉积物中的可浸取态氮主要与浮游动物有关。在南黄海不同粒度的表层沉积物的四项可浸取态氮中, NH_4^+ 和 NO_3^- 与浮游植物的生长繁殖、提升海域的生产力有密切关系, 两种无机形式的氮 (NH_4^+ 和 NO_3^-) 和叶绿素 *a* 与浮游植物细胞总量及初级生产力具有正相关关系, 说明表层沉积物中的可浸取态 NH_4^+ 和 NO_3^- 对于促进浮游植物的生长及提高初级生产力具有非常重要的作用, 是浮游植物可以直接吸收利用的氮的两种主要形式, 其中 NO_3^- 的作用要稍大一些, 且粒度越细, 影响越大; NH_4^+ 和 NO_3^- 对于促进浮游动物及底栖动物生长繁殖的作用则不明显, 因不能被直接吸收利用而只能通过食物链的传输等一系列中间环节, 所以可推知氮无论以什么形态存在, 只有都转化为无机形式的氮 (NH_4^+ 和 NO_3^-) 后, 生态学功能才被显现。北黄海沉积物中占主导地位的是细粒度组分, 平均含量为 60%, 细粒度组分的结构和性质直接影响着沉积物中化学元素的形态、含量与分布, 使自然粒度沉积物中各形态氮的垂向分布与细粒度组分中各形态氮的分布非常相近。在氮的早期成岩过程中, 粒度也起着非常重要的作用, 细粒度组分中有机氮的分解速率最低, 比粗粒度组分中有机氮的分解速率常数低一个数量级, 是中粒度组分中的 1/10, 即细粒度沉积物中有机氮的分解矿化速率最小, 易于富集有机氮。对于不同站位的沉积物来说, 因沉积速率的差异, 致使沉积物中各形态氮的埋藏通量有很大差异, 沉积速率越大, 沉积物中各形态氮的埋藏通量越大, 在沉积速率最大的 10 站 (北黄海中部), 各形态氮的埋藏通量最大。

黄海、东海海水中的 $\delta^{13}\text{C}$ 在 0‰ 附近, $\delta^{15}\text{N}$ 在 5‰ 附近, 两者均有明显的日变化, 特别是在表层水中尤为明显, 两者也有明显的随深度的变化, 反映了碳、氧同位素受多种因素的影响, 碳、氧同位素可用于研究海水的混合状况、海水来源和物质循环的示踪剂。通过对海洋碳源汇研究成果的分析, 剖析了海洋碳源汇的内涵, 提出了“表观碳源汇”与“实际碳源汇”的概念, 对海洋碳源汇不确定性的原因进行分析, 提出碳参数测定不准确与关键生物地球化学过程不清楚是根本原因, 海洋碳源汇研究应特别注重陆架边缘海碳循环过程研究, 提高碳参数测定的准确性和应深入研究控制碳循环关键的海洋生物地球化学过程是研究关键; 用室内模拟的方法获得了温带海表层海水温度与海水 pCO_2 分压的关系, 统计关系为 $\text{pCO}_2(\text{水}) = 10^{1.15 - 0.015T}$ (水) 与实测 $\text{pCO}_2(\text{水})$ 误差小于 10%。用表层海水温度大气 pCO_2 分压资料, 第一次获得了渤海、黄海、东海海-气界面 CO_2 通量的季节分布变化特征和该海域碳源汇的强度。渤海、北黄海、南黄海、东海 3 个区域的春季和冬季均是海水吸收大气中的 CO_2 , 在量值上冬季远大于春季, 夏季 3 个区域皆是海水向大气释放 CO_2 , 秋季最为复杂, 渤海与北黄海是吸收 CO_2 , 而南黄海和东海是释放 CO_2 。吸收 CO_2 通量最小和最大的区域和季节是北黄海的秋季 (10 站早冬, 以 CO_2 计) 和渤海的冬季 (10 站早冬, 以 CO_2 计), 释放 CO_2 通量最小和最大的区域和季节是北黄海的夏季 (10 站早冬, 以 CO_2 计) 和东海的夏季 (10 站早冬, 以 CO_2 计)。就全年而言, 渤海、北黄海、南黄海、东海的通量分别为 1.0、1.0、1.0 和 1.0 (以 CO_2 计), 南北黄海合二为一则为 1.0 (以 CO_2 计), 且均是海水吸收大气中的 CO_2 。整个东中国海平均值为 1.0 (以 CO_2 计), 春、夏、秋、冬季分别为 1.0、1.0、1.0 和 1.0 (以 CO_2 计)。春季和冬季东中

国海皆为大气 碳源 的汇 ,可吸收的碳分别为 苑.22 万 吨和 员.74 万 吨 ,夏季皆为 碳源 的源 ,可释放到大气中的 碳源 为 源.22 万 吨 ,秋季渤海与北黄海为 碳源 的汇 ,可吸收 圆.6 万 吨 ,南黄海与东海是 碳源 的源 ,可释放碳 猿.6 万 吨 ,在秋季整个东中国海可释放的碳为 圆.6 万 吨 ,东中国海作为大气 碳源 的汇全年总平均可吸收的碳为 员.74 万 吨 ,对东海表层沉积物的再悬浮比率和颗粒有机碳 (颗粒) 的垂直净通量研究可知 ,东海丰水期表层沉积物的再悬浮比率为 源.00% ~ 苑.00% (平均值为 远.00%) ;底层的再悬浮比率为 苑.00% ~ 怨.00% (平均值为 愿.00%) ;再悬浮比率的 最大值出现在 员.5 站的底层 ,再悬浮比率的最小值出现在 员.0 站的表层。颗粒有机碳的垂直净通量最大值出现在 员.5 站的 表层 ,为 员.60 早皂 · 亩 (以 悦计) ,最小值为 园.90 早皂 · 亩 (以 悦计) ,出现在 员.5 站的底层。垂直净通量的平均值 ,表层水 为 悦为 缘.00 早皂 · 亩 (以 悦计) ,次表层水为 员.60 早皂 · 亩 (以 悦计) ,中层水为 愿.00 早皂 · 亩 (以 悦计) ,底层水为 缘.00 早皂 · 亩 (以 悦计) 。在丰水期 ,海水由于海气交换得到的 碳源 ,仅有 员.74 以颗粒有机碳的形式垂直转移而形成表层沉积物中的有机碳。

第四篇系统研究了南海与南沙珊瑚礁生态系的生物地球化学过程。通过对珠江口枯水季节海水中 藻类 叶绿素 藻 的分析 ,把珠江口区域分为近河口区域、珠海 原 澳门外海域、深圳 原 香港外海域、珠江口中部开阔区和万山群岛海域五个区域 ,近河口区域具有较低 藻类 较高 藻类 及较高叶绿素 藻 的特点 ,珠海 原 澳门外海域具有高 藻类 较低 藻类 很低 藻类 及很高叶绿素 藻 的特点 ,珠江口中部开阔区域则具有高 藻类 中等 藻类 很低 藻类 及低叶绿素 藻 的特点 ,万山群岛海域则具有较低 藻类 很低 藻类 很低 藻类 及较低叶绿素 藻 的特点 ,这些特点对生源要素的水平转运与垂直转移有重要影响。南海北部表层沉积物中氮、磷、硅的研究结果表明 ,①随着北纬度的降低 ,站位愈向深海而远离海岸 ,南海北部表层沉积物可转化态氮、磷、硅的总量趋于减小 ,反映了陆源输入对南海北部沉积物环境营养盐的影响 ,硅含量无明显的变化 ,说明所研究区域海洋沉积物中的硅受陆地的影响相对较小 ;②南海北部表层沉积物有机态氮、磷、硅的总量与强碱转化态相近 ,比离子交换态氮、磷、硅的总量高 ,比弱酸转化态高得多 ,这说明 ,南海北部沉积物中氮、磷、硅潜在的释放主要来源于有机质的降解和沉积物中硫化物矿物的氧化 ,有机态的磷和硅还有一部分来源于硅酸盐的进一步溶解 ,尤其是硅 ;③有机态氮是表层沉积物中可转化氮的主要赋存形态 ,它比其他形态存在的氮高 圆- 猿个数量级 ,磷和硅与强碱转化态相近 ,这说明以硫化物或有机质存在的磷与硅相对于氮而言少得多。这从另一个侧面说明 ,人类活动主要造成了该海域沉积物中氮的积聚。南海北部沉积物可转化态氮、磷、硅的垂直分布的变化特征是沉积物中氮、磷、硅的垂直变化集中表现在有机态中的变化 ,尤以有机氮最为明显。南海北部沉积物氮、磷、硅变化一个较普遍的特征是 ,沉积物表层与次表层之间的变化与次表层以下的变化特征不同。一般次表层可转化态的氮、磷、硅总量比表层的高 ,表层的又比取样最低层高。而 晕 原 则是表层最高 ,次表层最低。表层最高说明了沉积物受陆源氮的影响较大 ,次表层 晕 原 与 晕 原 互为消长 ,说明 晕 原 与 晕 原 之间存在着一定的氧化还原平衡。无论在哪一个沉积层次之间 ,平面分布都呈现出这样一个趋势 ,随着北纬度的减小 (即由北向南) ,沉积物中可转化态氮、磷、硅总量趋于减小。

这可能是由于逐渐远离人口密集的珠江三角洲,人为因素的影响越来越小的缘故。有机态氮、磷、硅垂直变化的一个明显特征是,氮的含量比强碱浸取态高 1~2 个数量级,比弱酸转化态高 1~2 个数量级,比吸附态高 1~2 个数量级。有机态磷、硅垂直变化与强碱转化态磷、硅垂直变化非常相似,沉积物磷、硅释放的垂直变化特征是细粒级的释放量比较大粒级的释放量普遍地高,说明有机质中氮的含量比磷、硅的含量要多得多,有机质中磷、硅的含量对沉积物中磷、硅的含量影响相对要小,强碱浸出部分的磷、硅是沉积物中磷、硅可转化释放的主要来源,这些磷、硅主要是以磷酸盐或硅石等形式存在于沉积物中的。强氧化剂溶出部分的是构成沉积物中可转化态氮、磷、硅的主体,由此推知有机质的氧化是沉积物中氮、磷、硅迁移的主控成岩过程。对南海北部沉积物中潜在可转化的氮、磷、硅的研究表明,南海北部沉积物中,有 10%~20% 的氮, 10%~20% 的磷和 10%~20% 的硅在相当长的时期内不能参与生物地球化学循环,而是被埋藏在沉积物中成为惰性态。南海北部沉积物样品中氮的赋存形态主要是有机态,无机态在可转化态所占的比例是很小的。在氮的转化潜能方面,不同形态氮的转化能力顺序是 可转化态氮 > 弱酸转化态氮 > 强碱浸出态氮 > 强氧化剂溶出态氮。南海北部沉积物均是向上覆海水提供氮、磷、硅,提供氮的量多于硅,远远大于磷;氮向海水扩散的量在河口高于远离河口的站位,近河口的 粤站向上覆水扩散的无机氮为 1.0~1.5 mg/L,离河口稍远的 月站则为 0.5~1.0 mg/L,更远的 悦站为 0.2~0.5 mg/L,最远的 阅站仅为 0.1~0.2 mg/L,再一次说明南海北部的无机氮确实是来自人为污染而在沉积物中积聚的结果,磷与硅则没有这一现象。

第四篇对南沙珊瑚礁生态系的生物地球化学过程的探索,是我国目前对珊瑚礁生态系统物质循环最系统的多学科综合研究,绝大部分内容属首次报道。在研究对象上,第一次对海水、沉降颗粒物、浮游生物、海藻、珊瑚及沉积物进行系统集成并结合活体珊瑚培养的方法进行研究,在珊瑚礁生态系研究上取得了一系列突破:①首次对元素在珊瑚礁生态系中的垂直转移过程给出了清晰的轮廓。包括:非生源要素在内的所有元素在珊瑚礁生态系中的垂直转移,100% 以上是由生物来完成的,非生物过程仅占不到 10%;生源要素垂直转移到达 湖底部后,大部分在沉积物中再生释放进入 湖水中进行再循环,其中再生释放的量占垂直转移到沉积物中的比例,总碳、总氮、总磷分别为 100%、100%、100%,有机碳、有机氮、有机磷分别为 100%、100%、100%。②在国内外首次对珊瑚礁生态系中垂直沉降颗粒物的生物标志化合物进行了研究,并第一次检出了较高含量的类异戊二烯二烯烃 (悦),提出其主要来源于角刺藻和根管藻,并检出了较丰富的类异戊二烯酮、醛、醇脂类,表明垂直沉降颗粒物在到达沉积物 海水界面前,已经进行了强烈的生物化学改造。③对维持珊瑚礁高生产力的原因进行了深入的研究,提出了拟流网新理论,即维持珊瑚礁生态系高生产力的根本原因在于由热带相对固着的生物 (主要是珊瑚) 组成的生物化学反应器大量富集外海寡营养水中的营养物质并在其内进行快速循环。这些相对固着的生物起着类似“流网”的作用,可以捕集流动海水中密度很小的“鱼虾”营养物质。这是对珊瑚礁物质循环研究的重大贡献。④发现了珊瑚中的虫黄藻可以“奢侈消费”营养盐的特性,当珊瑚礁生态系中营养物质含量快速增大时 (如由于生态环境的突变,底部有机质快速分解,释放大 量营养物质或短时间海水运动带来大量的营养盐),虫黄藻可在短时间内大量吸收之,从而间歇得到所需的营养盐,这种机制可对拟流网理论形成补充。

从上述可以看出,本书的大部分结论是全新的,许多是首次报道,从研究的方法上进行了源头创新,所得的成果显然是原创性的,所以创新是本书的最大特点。

本书是集体劳动成果的结晶。李鹏程研究员参与了部分研究工作的实施,协助整理了第四篇第十二章第二节的一、二部分。中国科学院兰州地质研究所的段毅研究员协助整理了第四篇第十二章第一节中的二、三部分。我的研究生罗延馨、赵卫东、马红波、吕晓霞及博士后孙云明副教授进行了大量的实验分析和测定,并协助进行了部分资料整理。特向以上为本书的完成担负过实质性工作的同志表示我深深的谢意。中国科学院资深院士、著名海洋学家曾呈奎教授,中国科学院院士、著名海洋地质学家秦蕴珊教授,中国工程院院士、著名物理海洋学家袁业立教授分别为本书作序。中国科学院海洋研究所原情报研究室主任徐鸿儒先生、《海洋科学》编辑部原主任周海鸥编审、原专著编辑室的孙北林先生对本书初稿提出过建设性建议,特向以上专家表示感谢。在这里,还要特别感谢国家自然科学基金委员会、中国科学院的项目资助和山东省泰山科技专著出版基金会的资助,感谢国家自然科学基金委员会地学部领导和海洋学科主任王辉教授、中国科学院资源环境科学与技术局原副局长陈泮勤研究员的指导与支持。没有以上同志的帮助与有关单位的支持,本书不可能顺利完成,再一次躬谢他们。

作为一部为创立新学科奠定基础 and 全新内容的专著,书中无论是结论还是叙述方法都肯定会有不足乃至错误之处,恳请读者批评指正。

宋金明

