

中国海洋化学分析方法研究进展

郑彦¹, 彭景吓², 吴芳², 王萍², 蔡宗群²,

肖翔², 李毓骐¹, 朱亚先¹, 张勇^{2*}

(1. 厦门大学化学化工学院化学系, 2. 厦门大学近海海洋环境科学国家重点实验室, 环境科学研究中心, 福建 厦门 361005)

摘要: 概括了近 10 年来中国海洋化学分析方法研究进展, 涉及新技术、新方法在营养盐测定, CO₂ 系统参数分析, 痕量有机物分析, 化学示踪及同位素分析等方面的应用, 并提出了一些不足. 本文引用文献 56 篇, 以期为我国海洋化学分析方法的进一步研究和应用提供参考.

关键词: 分析方法; 海洋化学; 进展

中图分类号: P 76

文献标识码: A

文章编号: 0438-0479(2007)S1-0067-05

海洋化学分析方法及技术近十几年来进步巨大. 在海洋实验室里诞生了一批对海洋科学研究产生重大影响的海洋化学分析、研究方法. 这些方法为我国海洋化学分析方法与技术的发展起到了建设性的推动作用. 但海洋化学分析方法近年来的发展及其中的某些具体问题值得思考.

1 营养盐

海水中的营养盐是海洋浮游植物生长繁殖所必需的成分, 也是海洋初级生产力和食物链的基础. 因此, 海水营养盐一直是化学海洋学研究的重要内容.

在硝酸盐的分析方面, 通过加入人工海盐, 建立了没有盐误差的新的铋-镉还原法^[1]. 在总氮及总磷的分析中, 用过硫酸钾法氧化后, 采用自动分析, 同时测定了水样中的硝酸盐和磷酸盐^[2]. 采用连续流动分析系统和紫外消化及水浴装置, 是目前基于常规连续流动分析系统测定海水中溶解态总磷的最优方案^[3]. 流动注射-气体扩散法^[4], 靛酚蓝光度法^[5]已发展为测定氨氮的两种新技术. 国内首台营养盐连续监测分析仪被成功用于检测氨氮含量^[6]. 而海水中低含量铵氮可用高灵敏度荧光法测定^[7].

为研究海洋沉积物中的生源要素在其循环中的作用和生态学功能, 研究者对 Ruttenberg 磷形态的连续浸取方法进行了改进, 获得了渤海表层沉积物中

有机结合的氮、磷和与碳酸盐结合的硅等参与生物地球化学循环的元素的主要形态^[8-9], 深入研究了不同干燥方法对沉积物样品中有机磷分析的影响^[10], 确定了生物硅测定中合适的固液比^[11]. 研究者在考察莱州湾主要观测要素的分布特征及相互关系^[12]、研究小球藻生长与胞内多糖积累的关系^[13]、调查氮磷营养盐对叶绿素分布的影响^[14]等方面应用了许多新技术. 通过原样培养及实验室模拟法研究了沉积物-海水界面的营养盐通量与交换通量^[15], 测定计算了营养盐界面交换速率^[16].

近几年我国研制和开发了营养盐自动分析仪, 实现了营养盐测量的自动化, 但它还不能完全适用于现场自动监测. 相信不久海水营养盐现场分析仪将承担起我国近海海域营养盐监测工作.

2 CO₂ 系统参数分析方法的研究

碳循环是海洋物质循环研究的主要内容, 是海洋生命活动的基础. 工业革命后, 大气中 CO₂ 的浓度急剧增加, 气候变暖, 这些生态系统的变化使人们对碳循环的研究愈加重视. TOC 分析仪的不断改进使得溶解无机碳(DIC)、溶解有机碳(DOC)和颗粒态有机碳(POC)等 CO₂ 系统参数的测定变得简便. 近 10 年来对碳系统参数测定的研究发展迅猛. 如将海水样品酸化, 使海水中的 DIC 转化为 CO₂, 用 Li-Cor 6262 非色散红外检测器测定 CO₂ 体系^[17]; 将置于特殊腔体中的光纤传感器用于海洋站位 P_{CO₂}、P_{O₂} 等参数的测定^[18]等. P_{CO₂} 的测定研究较为活跃, 自制平衡器-GC 法^[19]、特制水气平衡器红外分析系统^[20]、微米级 P_{CO₂} 微电极^[18]、特制水气平衡器及 Li-Cor6262 CO₂ 红外

收稿日期: 2007-04-09

基金项目: 国家自然科学基金“厦门大学化学基地(J0630429)”和
国家自然科学基金(20577037)资助

* 通讯作者: yzhang@xmu.edu.cn

分析仪^[21]、膜分离技术与流动注射分析相结合的 Pco_2 流通式光度法^[22] 等多种测定 Pco_2 的方法应运而生。

在有机碳测定中,新的连续流动化学发光法已用于测定水中 TOC ^[23]。可同化有机碳的测定方法也已被确定^[24]。研究者系统地比较了各种因素对高温燃烧法和紫外/过硫酸钾法的影响后,确定了保证海水中 DOC 测定结果正确性的 3 个必要条件^[25]。另外,研究者还对无机碳的形态进行了研究^[26]。不同存在形态的碳对海洋碳循环的影响明显不同。

中国陆地和海洋生态系统的区域碳循环在全球碳循环过程中占有重要地位。但中国边缘海系统碳循环研究相对薄弱,陆、海、气作为一个系统的综合研究还比较缺乏^[27]。

3 海水痕量有机物分析

迄今为止,人们对海水中的溶解有机物的认识还是相当浅薄。70% 以上的有机物还未能确定其成分而只是用 DOC 来表征有机物的量、揭示其浓度梯度变化。最近对一些特殊有机分子的研究表明,它们有可能对全球的化学物质循环产生重大的影响^[28]。如何定性定量这些超痕量的溶解态有机物曾经是研究有机碳循环的主要障碍。因为分析海水中特殊有机化合物时需要大量的样品且前处理费时。但近 10 年来,这些方法有了很大的改进。

测定海水中二甲基硫(DMS)时,已有报道采用 DMS 渗透管作为标准,可提高准确性^[29];而用吹扫捕集法处理海水样品, GC/PEPD 检测时,回收率为 85%,最低检出限为 50 pgS ^[30]。还有一些新的快速萃取技术应用于海洋有机物分析中^[31-32]。在氨基酸、烃类等的测定中,新建立了一种用 SPME-GC 快速分析水中酚类化合物、苯系化合物的方法并用于海水样品的测定^[33-34]。在具体监测方面,研究者利用 GC-ECD 法测定了大连湾、辽东湾表层沉积物及表层、微表层海水中的 16 种有机氯农药^[35],利用邻苯二甲酸酐-3-巯基丙酸自动进样柱前衍生反相 HPLC 法研究了大亚湾沉积物中氨基酸的垂直分布,并测定了水解氨基酸和游离氨基酸的比例^[36],利用荧光法现场测定了胶州湾海水黄色物质荧光强度,首次获得了我国海域黄色物质的分布数据^[37],应用 GC-MS 技术测定海藻中的石油烃和多环芳烃^[38],用 SPME-GC-MS 联用技术快速检测赤潮海水中的有机物^[39],还应用水体反射率曲线提取了赤潮生物水体的特征光谱^[40]。

甲烷是温室效应气体之一,用动态技术,经抽取、

气相色谱法已测定了海水中溶存甲烷浓度^[41]。还将海水溶解气体用真空脱气法脱出并用 MA T-271 质谱仪测定组分,用 MA T-252 质谱仪测定甲、乙、丙烷的碳同位素值,进而研究了上层海水的溶解甲烷^[42]。

尽管如此,国内对痕量有机物分析还缺乏系统性、全面性,与国外研究还有一定的差距。

4 化学示踪及同位素分析

海洋中的生物、化学过程无不受到海洋物理过程的影响,利用那些与总浓度变化和海水的变化有很好相关性的化学物质作为示踪物质进行研究已被证实为一种有效的方法。现有的示踪物质多为有适当半衰期的放射性物质或是一些人造化合物,它们有很好的时间相关性和功能相关性。然而它们多以极低的浓度存在,这就需要通过先进的分析仪器和优良的污染控制措施来实现。

在示踪物质方面,氯氟烃和 ^{14}C 是两种常用的测定深海循环类型和速率的化学示踪物质。分析手段方面,自 GC/ECD 诞生以后,海水中氯氟烃浓度通常用吹扫捕集 GC/ECD 法测定。由于其极高的灵敏度,该方法目前可以准确测定海水中 0.005 pmol/L 的氯氟烃。 ^{14}C 是得益于现代分析技术的另一种海洋示踪物质,可用来测定海洋的搬运作用。加速器质谱技术的发展,使得测定方法可以直接用于深海和沉积物样品的测定。如测定北太平洋和北大西洋中 DOC 及 DIC 的 ^{14}C 的断面分布,进而阐述大洋底层水循环的时间尺度及碳的各种形态的转移和循环^[43]。

放射性同位素可以指示海洋中化合物的混合和迁移。 ^{238}U 与 ^{234}Th 的比值可以被用来研究颗粒物在水中的移去速率。通过测定其他与此有关的元素与颗粒物所带 Th 的量,可以计算出不同元素的去除速率。以前测定 ^{234}Th 和 ^{230}Th 的方法很复杂,由于移去表层海水中的 Th 是一个非均相的过程,同时 ^{234}Th 只有 24.1 d 的半衰期且其大部分活性都比较低,这就要求现场操作。其他具有较长的半衰期的 ^{230}Th 等样品的测定则要有数千升的水样才能满足常规方法的要求。以下两种 Th 的分析方法使上述困难得以解决:1) 将 Th 吸附在浸泡过氧化镁的丙烯酸纤维上,再用泵的方式从海水中萃取 Th ,以避免采集大量的水样;2) 利用 ^{234}Th 释放出的 γ 粒子,以低背景的 GeLi 探测器测定。有报道以 ^{232}U - ^{228}Th 平衡溶液为产额示踪剂,利用 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 共沉淀法富集大体积海水中的 U 、 Th 同位素,通过阴离子交换树脂“双柱法”进行分离纯化,用 α 能谱仪和 β 计数仪测定 ^{238}U 、 ^{234}Th 的放射性活度,该研究为海洋真光层颗粒动力学和海洋新生产力

的同位素示踪研究奠定了方法学基础^[44]。另有报道阐述了²³⁴Th-²³⁸U不平衡研究中基于梯形积分原理的集成采样法的可行性^[45]。在镭元素的应用方面, 锰纤维富集大体积海水中的镭同位素后, 用HPGe谱仪测定海水中²²⁴Ra、²²⁶Ra和²²⁸Ra的比活度, 成功推导了3种核素比活度的计算公式, 同时测定了3种核素^[46]。通过分析大气、海水、沉积物Pb同位素的组成, 计算Pb同位素混合模型和源区参数, 有效示踪了Pb工业污染的来源、分布和远距离传输的规律^[47]。有报道利用动物细胞微核现场监测的方法, 比较了大亚湾核电站运转前后海域环境的变化^[48]。而对中国南海中部沉积物中浮游有孔虫的碳、氧同位素分析, 被作为南海古海洋学研究的科学依据^[49]。近期国内一些有关化学示踪及同位素分析研究工作已参与国际研究项目。

5 新技术新方法的应用

化学传感器和自动分析器对于通过检测项目来评价环境的变化是非常重要的, 可用于无人值守的远距离站岗, 且在较大尺度上现场直接检测海水中的化学物质。传感器的使用常受到其基线漂移的限制, 脉冲氧电极的研制成功使得这类仪器长时间的稳定性有了长足的进步。置于特殊腔体中的光纤传感器已用于海洋站岗 P_{CO_2} 、 P_{O_2} 等参数的测定, 其测定周期可从几天到几个月^[18]。利用荧光淬灭原理制备的化学传感器, 成功地在线检测了人工海水中的溶解氧^[50]。光纤传感技术和CCD检测技术的结合, 实现了海水盐度的自动化远距离遥测^[51]。海洋金属腐蚀监测电化学传感器已投入使用^[52]而集监测DO, BOD和COD三者于一体的现场监测仪器已被提出作为新的发展方向, 并有望通过该仪器来研究三者所存在的相互关系, 建立起有机污染预防机制^[53]。光纤反射型传感器可灵敏方便地测量污水浊度^[54]。一种新型数字式海水盐度计已成功研制, 该仪器的特点是测量精度较高, 能在强磁场、强电场下工作^[55]。新型便携式高灵敏度X射线荧光仪已经用于地质勘查中, 新型便携式微机多道 γ 能谱仪设计方案也已出炉^[56]。

2001年以来, 国家海洋局主持修订的国家标准: 海洋调查规范(GB/T 12763.4-200x)和海洋监测规范(GB17378.1-200x)已通过专家评审, 即将颁布使用。新修订的海洋调查规范包括DO、pH、总碱度、活性硅酸盐、活性磷酸盐、亚硝酸盐、硝酸盐、铵盐、氯化物、总磷、总氮等11个项目, 15种分析方法。更重要的是新规范抓住了质量保证与质量控制的关键性问题,

加强调查结果的质量保证, 具有很强的操作性和实用性。新修订的海洋监测规范分海水、沉积物、生物体3种介质。海水部分包括39个项目、沉积物部分包括17个项目、生物体部分包括13个项目的分析方法。从样品的采集、保存、运输、预处理到分析过程的质量控制, 数据处理都作了明确的规定, 是一部操作性和实用性都很强的规范方法。

近日, 国家863计划“台湾海峡及毗邻海域海洋动力环境实时立体监测系统”已开展示范实验, 实时立体监测海洋动力要素, 为我国提供了最先进、技术层次最高的海洋环境监测手段。

6 结 语

海洋生态系统动力学研究对海洋科学各分支检测项目和水平提出了新的要求, 如应考察营养盐在以碳、氮、磷为主的物质循环中的动力学行为对过程的控制。对沉积物中各营养盐来说, 在特定水环境条件下与水体交换形态的富集分离的认识还要加深。TOC、DOC、DIC、POC的分析方法可能会稳定一段时间, 但 P_{CO_2} 的分析方法需要改进和普及, 胶体有机碳的分析方法及定义的确定需要继续研究。化学示踪及同位素分析随着GC/ECD等分析技术的发展对地化循环的动力学研究起到了不可估量的作用, 找到更多的合适的示踪元素来探究海洋中特定污染物的来源及迁移转化将是化学示踪的发展趋势。对于海水中痕量有机物的分析而言, 样品的污染是最严重的问题。现场自动分析器或化学传感器的使用可以减少因样品运输和储存造成的样品污染。海洋有机物分析技术的提高, 会对海洋科学研究起到突破性的推动作用, 但还需要海洋和化学工作者付出艰辛的努力。

参考文献:

- [1] 于志刚, 姚庆祯, 张经. 铋-镉法测定天然水中硝酸盐的盐误差及其解决方法[J]. 理化检验(化学分册), 1998, 34(11): 496-497.
- [2] 赵卫红, 焦念志, 赵增霞. 海水中总氮和总磷的同时测定[J]. 海洋科学, 1999, 5: 64-66.
- [3] 于志刚. 海水中溶解有机磷的测定方法[J]. 海洋学报, 1999, 21(5): 137-143.
- [4] 张永生, 邹晓春, 张曼平, 等. 流动注射分析(FIA)——气体扩散法测定海水中的 NH_4^+-N [J]. 海洋环境科学, 2002, 21(2): 57-59.
- [5] 王锋, 李玉环. 靛酚蓝光度法测定海水中的氨型氮[J]. 海洋技术, 2002, 21(3): 631-633.
- [6] 江伟武. 河口水质氨氮的自动监测影响因素研究[J]. 中国环境监测, 2004, 20(3): 12-13.

- [7] 余翔翔, 郭卫东. 海水中低含量铵氮的高灵敏度荧光法测定[J]. 海洋科学, 2007, 31(4): 37– 41.
- [8] 宋金明, 罗延馨. 渤海南部海域柱状沉积物中磷与硅的形态特征[J]. 海洋科学集刊, 2001, 43: 83– 95.
- [9] 宋金明, 马红波, 吕晓霞, 等. 渤海沉积物氮的生物地球化学功能[J]. 海洋科学集刊, 2003, 45: 86– 100.
- [10] 周毅, 张福绥, 杨红生, 等. 干燥方式对沉积物样品有机磷分析的影响[J]. 海洋环境科学, 2002, 21(1): 60– 62.
- [11] 叶曦雯, 刘素美, 张经, 等. 黄海、渤海沉积物中生物硅的测定及存在问题的讨论[J]. 海洋学报, 2002, 24(1): 129– 134.
- [12] 万修全, 吴德星, 鲍献文, 等. 2000 年夏季莱州湾主要观测要素的分布特征[J]. 中国海洋大学学报: 自然科学版, 2004, 34(1): 7– 12.
- [13] 谭绩业, 赵连华. 营养盐对小球藻生长及胞内多糖含量的影响[J]. 化学与生物工程, 2004, 1: 34– 37.
- [14] 蒋玫, 沈新强. 杭州湾及邻近水域叶绿素 a 与氮磷盐的关系[J]. 海洋渔业, 2004, 26(1): 36– 39.
- [15] 张学雷, 朱明远, 汤庭耀, 等. 桑沟湾和胶州湾夏季的沉积物-水界面营养盐通量研究[J]. 海洋环境科学, 2004, 23(1): 1– 4.
- [16] 蒋凤华, 王修林, 石晓勇, 等. 溶解无机氮在胶州湾沉积物-海水界面上的交换速率和通量研究[J]. 海洋科学, 2004, 28(4): 13– 18.
- [17] Cai W J, W W J, Wang Y C, et al. Intertidal marsh as a source of dissolved inorganic carbon and a sink of nitrate in the Satilla River-estuarine complex in the south-eastern[J]. Limnology and Oceanography, 2000, 45: 1743– 1752.
- [18] Cai W J, Reimers C E. Sensors for in situ pH and P_{CO_2} measurements in seawater and at the sediment water interface[C]// Buffle J, Horvai G, ed. In-situ Monitoring of Aquatic System: Chemical Analysis and Speciation. New York: John Wiley & Sons Ltd, 2000.
- [19] 张远辉, 黄自强, 马黎明, 等. 东海表层水二氧化碳及其海气通量[J]. 台湾海峡, 1997, 16(1): 37– 42.
- [20] 王伟强, 黄宣宝, 张远辉. 东印度洋海-气二氧化碳分压差及其通量研究[J]. 台湾海峡, 1997, 16(4): 402– 408.
- [21] 高众勇, 陈立奇, 王伟强. 南大洋二氧化碳源汇分布及其海-气通量研究[J]. 极地研究, 2001, 13(3): 175– 186.
- [22] 卢敏, 张龙军, 王彬宇, 等. 海水 pCO_2 流通式光度测定方法研究[J]. 青岛海洋大学学报: 自然科学版, 2002, 32(1): 94– 100.
- [23] 柳仁民, 刘道杰, 张子红, 等. 连续流动化学发光法测定水中总有机碳的研究[J]. 分析实验室, 1995, 14(2): 12– 15.
- [24] 周立红, 刘文君, 张雨萍, 等. 可同化有机碳测定方法探讨[J]. 集美大学学报: 自然科学版, 1999, 4(3): 19– 23.
- [25] 李学刚, 李宁, 宋金明. 海洋沉积物中不同结合态无机碳的测定[J]. 分析化学, 2004, 32(4): 425– 429.
- [26] 王江涛, 赵卫红, 谭丽菊, 等. 海水中胶体有机碳的测定——高温燃烧法和紫外/过硫酸钾法的比较[J]. 海洋科学, 2000, 22(2): 65– 70.
- [27] 戴民汉, 翟惟东, 鲁中明, 等. 中国区域碳循环研究进展与展望[J]. 地球科学进展, 2004, 19(1): 120– 130.
- [28] 杨桂朋, 康志强, 景伟文. 海洋中二甲基硫的生物生产与消费过程[J]. 中国海洋大学学报: 自然科学版, 2006, 36(1): 42– 48.
- [29] 方晨, 胡敏. 海水中二甲基硫的测定[J]. 北京大学学报: 自然科学版, 1998, 34(4): 461– 467.
- [30] 崔贞, 张曼平, 盛平气, 等. 气提-冷阱气相色谱测定海水中的二甲基硫[J]. 青岛海洋大学学报: 自然科学版, 1998, 28(1): 93– 98.
- [31] 周俊丽, 吴莹, 张经. 快速萃取在海洋有机物分析中的应用[J]. 海洋科学, 2004, 28(4): 70– 75.
- [32] 李惠平, 王立新. 海水中有有机污染物的气相色谱-质谱法鉴定[J]. 中国环境监测, 1996, 12(4): 18– 20.
- [33] 王若苹, 杨红斌. 固相微萃取-毛细管气相色谱法快速分析水中酚类化合物[J]. 中国环境监测, 2002, 18(4): 29– 32.
- [34] 王若苹, 杨红斌. 固相微萃取-毛细管气相色谱法快速分析水中苯系物[J]. 现代科学仪器, 2002, 3: 45– 47.
- [35] 吕景才, 赵元凤. 大连湾、辽东湾养殖水域有机氯农药污染状况[J]. 中国水产科学, 2002, 9(1): 73– 77.
- [36] 牟德海, 闫世平. 大亚湾沉积物中氨基酸的垂直分布-沉积物柱样 W9 中的水解氨基酸和游离氨基酸[J]. 暨南大学学报, 2002, 23(1): 113– 118.
- [37] 吴永森, 张士魁. 海水黄色物质光吸收特性实验研究[J]. 海洋与湖沼, 2002, 33(4): 402– 406.
- [38] 马永安. 色谱/质谱联用技术测定海藻中的石油烃和多环芳烃[J]. 海洋通报, 1997, 16(6): 80– 85.
- [39] 赵明桥, 张展霞, 李攻科. SPME-GC-MS 联用快速检测赤潮海水中的有机物[J]. 环境化学, 2000, 19(1): 73– 78.
- [40] 范学炜, 张汉德. 赤潮生物种类特征光谱获取技术[J]. 黄渤海海洋, 2002, 20(2): 83– 93.
- [41] 臧家业. 动态式抽取、气相色谱法测定海水中的甲烷[J]. 黄渤海海洋, 1996, 14(2): 33– 39.
- [42] 夏新宇, 王先彬. 西太平洋上层海水溶解甲烷浓度及碳同位素特征研究[J]. 沉积学报, 1996, 14(4): 45– 49.
- [43] 王旭晨, 戴民汉. 天然放射性碳同位素在海洋有机地球化学中的应用[J]. 地球科学进展, 2002, 17(3): 348– 354.
- [44] 陈敏, 黄奕普. 天然海水中 ^{238}U 、 ^{234}Th 的富集、纯化与测定[J]. 同位素, 1997, 10(4): 99– 204.
- [45] 陈飞舟, 黄奕普. 垂直集成采样法在 ^{234}Th - ^{238}U 不平衡研究海洋生产力中的应用[J]. 海洋学报, 1999, 21

- (6): 40–46.
- [46] 刘广山, 黄奕普. 锰纤维富集 γ 能谱法测定海水中的 ^{224}Ra 、 ^{226}Ra 和 ^{228}Ra [J]. 海洋学报, 1999, 21(5): 65–71.
- [47] 朱赖民, 张海生, 陈立奇. 铅稳定同位素在示踪环境污染中的应用 [J]. 环境科学研究, 2002, 15(1): 27–30.
- [48] 蔡亚娜, 何海晏, 钱黎明, 等. 大亚湾核电站运转前后动物细胞微核现场监测的比较 [J]. 海洋环境科学, 1995, 14(1): 50–54.
- [49] 成鑫荣, 陈荣华, 黄宝琦, 等. 南海中部沉积物捕集器中浮游有孔虫的稳定同位素分析 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 2002, 22(4): 73–75.
- [50] 李伟, 陈曦, 庄峙厦, 等. 基于荧光猝灭原理的光纤化学传感器在线监测水中溶解氧 [J]. 北京大学学报: 自然科学版, 2001, 37(2): 226–230.
- [51] 赵勇, 廖延彪. 海水盐度和温度实时检测的新型光纤传感器研究 [J]. 光学学报, 2002, 22(10): 1241–1244.
- [52] 万小山, 尹波, 曾圣湖, 等. 海洋金属腐蚀检测电化学传感器的研制 [J]. 腐蚀科学与防护技术, 2004, 16(1): 52–54.
- [53] 金兴良, 刘丽, 赵英, 等. DO、BOD 与 COD 的监测方法与相互关系探讨及其在海洋监测中的应用 [J]. 海洋湖沼通报, 2005, 1: 43–48.
- [54] 黄菊文, 李光明, 韦鹤平. 光纤反射型传感器测量污水浊度的方法 [J]. 同济大学学报: 自然科学版, 2005(33): 1334–1336.
- [55] 林华清, 陈华章. 数字式海水盐度计的研制 [J]. 广东工业大学学报, 2002, 19(3): 43–46.
- [56] 葛良全, 赖万昌, 周四春, 等. 海底 X 射线荧光探测技术及其应用研究 [J]. 物探与化探, 2002, 26(4): 283–286.

Advance in Analytical Methods of Marine Chemistry in China

ZHENG Yan¹, PENG Jing-he², WU Fang², WANG Ping²,
CAI Zong-qun², XIAO Xiang², LI Yu-qi¹, ZHU Ya-xian¹, ZHANG Yong^{2*}

(1. Department of Chemistry, College of Chemistry and Chemical Engineering, Xiamen University,

2. State Key Laboratory of Marine Environmental Science, Environmental Science Research Center,

Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract: Advance in the analytical methods of marine chemistry in the last decade in China was reviewed including the development of modern analytical methods for nutrients, carbon dioxide in seawater, trace organic materials, chemical tracer and isotopes. Some deficiency in this field was proposed. 56 references in the field were cited and some prospects were delivered.

Key words: analytical methods; marine chemistry; advance