

同位素海洋学的发展

DEVELOPMENT OF ISOTOPE OCEANOGRAPHY

洪阿实

(国家海洋局第三海洋研究所 厦门 361005)

同位素海洋学(Isotope Oceanography),在海洋科学研究中不仅着眼于元素,而且着眼于同位素的研究领域。

1 海洋同位素地层学与同位素古海洋学

同位素地球化学方法是研究板块构造、海底扩张等

1994年第6期

当代地球科学重大课题的强有力工具。它应用于海洋地层学即出现海洋同位素地层学。同位素古海洋学则是同位素地球化学方法在古海洋学即海洋古地理学上的应用,这是地球科学新的“生长点”之一。

人们发现,在冰期,海水中氧的重同位素相对富集,在间冰期,海水中氧的轻同位素相对富集。因此,钙质生

27

物骨骼的氧同位素值可以反映气候的变化,并据此建立了不同于陆上第四纪气候变化的冰期-间冰期旋回,证实了氧同位素的周期变化乃是冰期-间冰期气候交替的结果。它揭示出第四纪气候波动的频繁性具有明显的周期性,深海沉积物岩芯中有孔虫壳体的 δ_{18O} 变化曲线已经成为第四纪大洋地层学研究的最佳手段^[1]。它提供了迄今最完整的全球性气候记录。Emilliani, Shackleton 等人为氧同位素地层学做了开创性的工作。第四纪以来的氧同位素古海洋学已研究得比较深入,迄今已划分出 1.88Ma 以来 63 个氧同位素气候期,偶数期为寒冷期,奇数期为温暖期,气候曲线变化的特点是呈锯齿状的冷暖波动。

碳同位素记录可用于界限年龄的精确地层对比。现已查明,在海洋碳同位素记录中,在白垩纪/第三纪分界处曾发生过急剧的负向偏移,到晚古新世恢复正值以后,于接近古新世/始新世分界处再次发生了负向偏移。已发现深海岩芯中 K/Tr 界线的化石骨骼中 δ_{18O} , δ_{13C} 出现了大波动,表明当时的海水温度和化学特征发生过急剧变化^[2]。

Sr 同位素的演化可用于评价全球 Sr 同位素平衡的长期变化、对比和确定自生海洋沉积物的年龄。沉积物中的 Sr 同位素比值可用于海相地层的高分辨的地层对比。海水中 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 在地史上有显著变化并记录于海洋沉积中。海洋中 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 在白垩纪/第三纪界线处也呈现出急剧变化^[3]。现已获得 100Ma 以来海水中 Sr 同位素的详细记录^[4]。

珊瑚礁的生长发育对环境因素的变化极为敏感,在其生长层中含有过去环境变迁的丰富信息,成为重建海洋环境变化的重要标志,是古海洋学事件的有效监视器。最近,IAEA(国际原子能机构)发起了 1993~1995 国际协调研究计划,旨在以同位素方法通过珊瑚礁来研究全球变化、气候、环境的变迁和近岸污染情况,以期获得末次冰期以来的同位素古海洋学事件(海平面与海水温度变化、岛屿隆起与下沉速率等)。

2 同位素海洋化学

三宅泰雄首先奠定了同位素海洋化学的基础^[5],它主要研究海洋环境中各种核素的含量、分布、同位素比值及其迁移规律。

人们特别关切核爆炸(及如切尔诺贝利核反应堆事故等)对于大洋表面和周围沿岸水域造成的放射性污染,为此,测定了大洋表层的放射性核素的分布和垂直分布,了解其扩散、迁移和混合过程,计算垂直涡扩散系数。

28

日本学者测定了在北太平洋西部黑潮海域、亲潮和黑潮的混合区、日本海和东海海水中 ^{234}Th 的含量和 $^{230}Th/^{232}Th$, $^{228}Th/^{232}Th$, 研究了在水-沉积物界面间的迁移,通过岩芯中过剩 ^{231}Pa 和 ^{230}Th 的含量随深度变化的测定,推算出沉积速率约为 4mm/ka,通过水中放射性同位素的测定,估算其平均停留时间和垂直扩散系数^[6]。

利用 $^{228}Th/^{232}Th$ 法可以准确地研究 10a 左右的快速沉积过程,这对于像黄河三角洲这样的改道频繁的河口地区的经济开发,具有重要的参考价值。

河口中颗粒有机碳(POC)的碳同位素比值是一种良好的悬浮泥沙天然示踪剂,可用于研究颗粒有机质(POM)的来源和运移规律,确定入海通量,以及不同入海方向上的扩散距离,这对于研究颗粒有机质的污染来源,对于河口三角洲的开发都将发挥重要作用。

放射性示踪沙是一项观测底沙运动的先进技术,其优点是水力特性和物理特性与原体沙相似,能直接反映底流运动的特性。文献^[4]报道了采用 ^{46}Sc 为标记核素,研究福建闽江口底沙运动情况。

稳定碳同位素还是研究海气交换、阐明水体的碳源、计算碳支出和研究大洋深层水循环历史的重要手段。以 $^{206}Pb/^{207}Pb$ 作为示踪物是监测海洋与沿岸水域的铅污染源的有效方法。可用 $^{13}C/^{12}C$ 同位素比值监测沿岸水质^[8],也可以把 δ_b 和 δ_{18O} 作为指标,以判断地下水受海水污染的问题。

利用多元示踪剂-IDMS 方法可同时测定水、浮游生物、鱼类、沉积物等海洋环境中的 Cu, Cd, Tl 和 Pb,可区别出 10^{-3} 的浓度区别,揭示出这些元素随深度的变化。结果表明,表层海水的 Cu 浓度为深层海水的一半,而表层海水的 Cd 的浓度仅仅是深层浓度的 1/20, Cu 和 Cd 高度富集在表层的微型浮游生物中,而 Tl 的浓度随深度只增加 10%,浮游生物和海藻只聚集了少量的 Tl^[9]。

近年来,发展了一种多种放射性示踪剂- γ 谱测定法应用于研究河口地区金属元素的地球化学循环过程。

3 同位素海洋生态

利用碳、氮稳定同位素可以研究海洋生物地球化学过程、全球海洋通量,研究全球 C, N 循环和全球气候变化。通过颗粒有机碳(POC)中 δ_{13C} 可揭示出过去历史时期的古气候。测定结果表明,POC 中 δ_{13C} 与纬度有关,近赤道增加,远离赤道减少。

海洋环境中的新生产力,作为了解生源要素生物地球化学循环过程和海洋对大气 CO_2 进而对全球气候调节能力的手段而被纳入一些重大的国际性研究计划(如 JGOFS), ^{15}N 稳定同位素示踪法是海洋新生产力最基本

海洋科学

的实测方法^[5]。

以放射性核素¹³⁷Cs, ⁶⁰Co 和稳定同位素¹⁵N 和¹³C 作为示踪技术在海洋生态系中研究食物网和能量流, 了解食物网的营养结构, 揭示生态系中营养物质的循环与能量转换规律, 逐渐受到国内外学者的重视^[6, 12]①。文献^[6]以¹³⁷Cs 和⁶⁰Co 为示踪剂, 研究了放射性核素在海水及以扁藻、泥蚶、对虾和罗非鱼等生物组成的食物链网中的传播规律, 测定了食物链网各环节对核素的转移率, 探讨了各种生物摄食核素的主要途径。笔者利用¹⁵N₂O₃和¹⁵NH₄Cl 作为示踪物, 研究了¹⁵N 在由海水和亚心形扁藻、虫虫、长毛对虾和梭 等组成的食物链网中的传递规律¹。

4 同位素物理海洋学

在物理海洋学中, 示踪物(Tracer)被用于研究大洋环流、水团性质、运移、混合及其变异规律以及海气相互作用。作为示踪物, 除要求它的浓度应具有显著、可靠的、可测变化外, 还应在生化过程中具有良好的保守性、化学稳定性和无生物活性。

放射性和稳定同位素的示踪原子特性在物理海洋学中的应用愈来愈引起海洋学家们的重视和兴趣, 可能成为环流研究新的可靠手段。同位素示踪物是 WOCE 计划的观测项目之一。在物理海洋学中应用的同位素示踪物有:¹⁸O, ²H, ¹⁴C, ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr, ³He, ³He/⁴He, ³⁹Ar, ⁸⁵Kr 等稳定同位素、放射性同位素和稀有气体同位素等。笔者通过对热带西太平洋海区海水中氧同位素组成及其分布特点的分析后指出, 表层海水的 $\delta_{18}O$ 平面分布在一定程度上反映了该海区表层环流的基本特征, $\delta_{18}O$ 值的断面分布则反映了在某些站位底流涌升作用的存在。②

大洋水 $\delta_{18}O$ 值与盐度关系的研究, 即 δ -S 模式的研究, 是研究海水性质、探讨海水来源问题的有效途径^[10, 14]。表层海水的蒸发作用, 或由于低盐、低 $\delta_{18}O$ 值的大陆径流、天然降水或冰雪融化水等的加入将改变表层海水的盐度, 也必然引起同位素组成的再分配或产生同位素分馏而导致 $\delta_{18}O$ 值的变化。各大洋区表层海水的平均 $\delta_{18}O$ 值呈现出高纬地带较之低纬地带 $\delta_{18}O$ 值变负的同位素纬度效应^[7]③。

5 其他: 海底矿产资源

广泛分布于世界各大洋 2 000~6 000 m 深的洋底表层的金属矿产, 据估计总储量高达 3×10^{20} t 之巨, 其经济价值随着陆地资源日趋减少和深海矿产的勘查、开

采技术的改进已愈来愈引起许多国家的重视。一些发达国家更是不惜投入巨资, 运用高新技术竞相勘查。

在大洋矿产资源的研究中, 除进行海洋环境、沉积、岩石、矿物和地球化学的研究外, 同位素地球化学是确定生长速率、探讨形成机理、物质来源及其与沉积环境的关系等的有效手段。所用的同位素测年法有: 不平衡铀系法、¹⁰Be(AMS)法、²¹⁰Pb 法、³⁹Ar/⁴⁰Ar(MS)法等; 在稳定同位素地球化学方面, 主要有 C 和 O 同位素, Sr 和 Pb 同位素, REE(Nd, Ce, La 等)同位素, 稀有气体同位素 He/⁴He 等。

根据¹⁰Be 法对锰结核的测年资料分析后发现, 当 $0.24\% \leq Co \leq 2.0\%$ 时, Co 浓度与锰结核生长速率有一定的关系: $G(\text{mm/Ma}) = 1.28/[Co(\%) - 0.24]$ 。^[8]

同位素地球化学的进展, 激光熔样和封闭熔样, 微粒、微量和微区分析技术的进步, 高精度、超高灵敏度质谱技术的提高, 新的计温理论和同位素分馏理论的出现, 都必将促使同位素海洋学获得更加长足的进步。

参考文献

- [1] 同济大学海洋地质系, 1989. 古海洋学概论. 同济大学出版社, 41~43 页。
- [2] 许靖华, 1988. 海洋地质与第四纪地质 8(2): 1~13.
- [3] 洪阿实, 1992. 海洋通报 11(1): 93~99.
- [4] 邹汉阳等, 1990. 台湾海峡 9(2): 93~99.
- [5] 焦念志等, 1993. 海洋与湖沼 24(1): 65~70.
- [6] 蔡福龙等, 1984. 海洋学报 6(1): 72~80.
- [7] 吴世迎, 1988. 黄渤海海洋 6(3): 43~54.
- [8] 吴世迎主编, 1991. 马里亚纳海槽海底热液烟囱和菲律宾海沉积物. 海洋出版社, 第 75 页。
- [9] 戈德堡(美), 堀部纯男、猿桥胜子(日)编, 黄奕普等译, 1990. 同位素海洋化学. 海洋出版社, 277~308.
- [10] Broecker, W. S., 1974. *Chemical Oceanography* 6(3): 143-151.
- [11] Hess, J. et al., 1986. *Science* 231(4741): 979-984.
- [12] Otsuki A. et al., 1985. *Oceanogr.* 30(4): 820-825.
- [13] Tan, F. C. and Walton, A., 1975. IAEA, SM 191/5.
- [14] Be'dard, P. et al., 1981. *Nature* 293(5830): 287-289.

① 洪阿实等, 1992. ¹⁵N 稳定同位素示踪技术在海水养殖研究中的应用. 海洋学报. 待刊。

② 洪阿实等, 1993. 热带西太平洋海水氧同位素组成特征的初步研究. 海洋与湖沼, 待刊。

③ 洪阿实等, 1993. 太平洋和普里兹湾及邻近海域海水的氧同位素组成. 海洋通报. 待刊。