

海洋中胶体研究的新进展

赵卫红

(中国科学院海洋研究所 青岛 266071)

提要 对近 10 年以来胶体研究的报道和进展进行综合评述。Cross-flow超滤技术在海洋学上的应用促进了海洋胶体的进一步研究。研究表明,胶体物质在有机碳、氮、痕量金属、放射性 核素及有机污染物的生物地球化学循环中可能起着重要作用。这一领域的研究对重新认识海 洋物质循环的各种过程具有深远意义。

关键词 海洋 胶体 新进展

学科分类号 P734

海洋中颗粒相和溶解相的划分最早是由 Goldberg 等(1952,1954)提出的,这种划分是 基于物理、化学、生物及操作等几方面的考虑,采用过滤操作作为标准。通常使用 0.45μm 滤膜过滤,被截留部分为颗粒相,透过去的为溶解相,这个标准一直沿用至今。自 Goldberg 等(1952,1954)提出"清除"概念——表层水中的某些元素或物质通过与明显的颗粒相相 结合从表层迁移出去的过程后,提供了海洋元素的清除和迁移的生物地球化学过程的操 作框架。但最近的许多研究表明,利用过滤操作并不能真正分离海水中的真溶解相(粒径 < 1nm)和较小的胶体相(粒径 0.001—0.45μm)。Koike 等(1990)、Wells 等(1992,1994)在 对海水中次微米粒子(submicron particles)研究时发现,海水中含有丰富的次微米大小的 胶体粒子约为 10⁶—10⁸/ml,这些胶体主要是由过去被看作溶解相中的有机物质(DOM)组 成。海洋中的 DOM 贮池所含碳量与大气碳贮池相当,其中有一部分通过生物和化学的过 程快速地循环,任何影响海洋中 DOM 循环的过程都可能对全球碳循环的研究具有深远影 响。除了有机碳以外,目前有证据表明,一些具有生物活性的金属、有机污染物和放射性 核素的循环与胶体相关(Moran *et al*, 1989; Guo *et al*, 1996; Benoit *et al*, 1994; Brownawell *et al*, 1986; Chin *et al*, 1992; Dai *et al*, 1995)。因此了解和认识海洋中 的胶体相的性质和特征可以更进一步地理解有机物质和痕量元素的生物地球化学循环。

事实上早在 20 世纪 30 年代,就有人立志于分离颗粒、胶体和溶解有机相的研究 (Krogh, 1930, Krogh *et al*, 1931),但由于分离和鉴定技术手段的落后,阻碍了对海洋中胶 体物质的性质、特征及作用的深入认识。随着科学技术的发展进步,以及新技术在海洋学

^{*} 国家自然科学重点基金项目,39630060 号;国家重点科技攻关计划资助项目,96-922-02-04号;中国科学院特别支持项目,KZ95T-04-04 号及国家自然科学基金资助项目,39625008 号。赵卫红,女,出生于 1969 年 5月,博士后, Fax:0086-0532-2891114

收稿日期:1998-04-05,收修改稿日期:1999-05-10

上的应用,为胶体的研究提供了实验基础,近10年来海洋中胶体的研究又出现了新的高潮。

1 海水中胶体的分离和鉴定技术

1.1 分离技术

海水中胶体的分离是进一步深入了解胶体性质的前提,常用的分离技术有:搅拌池超滤(stirred-cell ultrafiltration)、超离心、离心超滤、凝胶色谱、树脂吸附、渗析、field-flow分级、切向超滤(cross-flow ultrafiltration)等,特别是切向超滤技术,近几年被认为是分离海水中胶体物质较为有效的方法,得到海洋学界和环境学界的广泛关注(Whitehouse, 1990; Buesseler *et al*, 1996)。

要了解胶体相的行为,首先是要测定胶体相中的痕量无机和有机组分的含量,这就需 要收集足够的胶体物质来测定。以往采用的超滤过程是将水样一次性透过滤膜,虽然这 样也可以达到分离胶体的目的,然而需要的压力比较大,过滤速率比较低(平均每小时几 毫升)且易沾污,这种设备不太适合环境化学中痕量元素的地球化学调查研究,这是因为 要获得足够的胶体物质用于化学分析,常需几十升甚至上百升水样。要想从如此多的水 样中分离出胶体物质,切向超滤是个切实可行的操作技术。切向超滤过程中,第一步用较 大孔径滤膜将水样预过滤,先除去较大的颗粒物,然后将预过滤后的水样用泵由贮样池压 人超滤池,一部分液流透过超滤膜成为超滤液,大部分切向流过膜表面又返回到贮池中, 这样不断循环,贮池中的胶体不断浓缩。这种切向流式超滤可以阻碍胶体在膜表面的累 积(Baker *et al*, 1970; Blatt *et al*,1970),将吸附和絮凝效应降至最低,减少了胶体损失; 另外还可根据要求设计成有较大膜面积和较小组件的装置系统,减少死体积,超滤速率较 快。这项技术最早用于工业分离或回收某些产品。而应用到海洋研究中,目的是为了能从 高度稀释的溶液中将物质进行精确粒径分级。由于该技术在海洋胶体研究中日益得到重 视,最近对不同切向超滤系统进行了互校,以不断改进和完善这项技术在海洋研究中的应 用(Buesseler *et al*,1996)。

1.2 鉴定技术

常用对胶体性质、特征进行鉴定的技术有:(1)颗粒计数器。它可以感应在一定粒度 范围内的粒子数目。(2)透射电子显微镜(TEM)和扫描电镜(SEM)。TEM可用来测定粒 子的大小、数量、分布、形状、空隙度、内部不均匀性、结晶结构等,它可以观察到小到纳米 级的结构。SEM的解析度不如TEM,但可以得到粒子的三维情况。(3)能量分散谱 (EDS)。它是对样品做X-射线微分析,可定性知道颗粒物的元素组成,能提供原子数大于 10的胶体颗粒的元素组成信息。(4)光子相关谱(PCS)。它测定得到的是样品中胶粒的权 重平均大小分布,它是基于粒子做布朗运动时,所引起的光散射的瞬间变化,光散射的灵 敏度与粒径有关。(5)光散射(LS)。它可对总颗粒物含量做相对评估,它是颗粒物粒径和 浓度的函数。(6)微电泳(ME)。它可以得到胶体颗粒表面的电荷信息。此外在胶体分离 基础上,配合有机碳分析、金属元素分析、络合容量分析、放射性核素分析、有机污染物质

2 海水中的胶体有机碳

海水中的胶体物质主要是一些有机物质,胶体有机碳(COC)以及与其相关的研究成

为海洋中胶体研究的一大主流。胶体有机碳贮池的大小及其来源和归宿是该领域的研究 重点。

2.1 胶体有机碳的分离和测定

胶体有机碳的研究是随着溶解有机碳测定方法、胶体分离方法的不断改进和发展而 开展起来的。在一些早期的研究中(Maurer, 1976; Zsolnay, 1979; Carlson, et al, 1985), DOC 和 COC 的测定主要利用湿法氧化法,采用搅拌池超滤进行胶体分离,如表1 所示。

| Tab.1 Colloidal organic carbon in different sea areas | | | | | |
|---|-------------|----------------|---------|--------------|----------------|
| 海区 | 粒径范围 | COC/DOC (%) | 测定方法 | 分离方法 | 参考文献 |
| 墨西哥湾 | >1kDa | ~15 | 湿法氧化法 | 搅拌池超滤 | Maurer (1976) |
| 北Carolina海岸 | >2kDa | ~11 | 湿法氧化法 | 搅拌池超滤 | Zsolnay (1979) |
| 北大西洋及海岸 | >1kDa | ~ 34 | | | |
| | >30kDa | ~6 | 湿法氧化法 | 搅拌池超滤 | Carlson等(1985) |
| | >100kDa | ~1 | | | |
| 太平洋 | >1kDa | 22-33 | 高温催化氧化法 | cross-flow超滤 | Benner等 (1992) |
| Amazon河 | 1kDa-0.2µm | ~ 76 | 高温催化氧化法 | cross-flow超滤 | Benner等(1993) |
| 北墨西哥湾 | >1kDa | ~45 | 高温催化氧化法 | cross-flow超滤 | Guo等(1994) |
| | >10kDa | 11 | | | |
| 威尼斯泻湖 | 10kDa-0.4µm | 10-26 | 高温催化氧化法 | cross-flow超滤 | Martin等(1995) |

表1 不同海区的胶体有机碳(COC)

Da为质量单位Dalton

10年前 Sugimura 等(1988)利用高温催化氧化法测得的 DOC 的浓度比传统的湿化学 氧化法高 2—4倍,故他们认为传统的方法对 DOC 氧化不完全,这在海洋学界引起了轰 动。随后的一些研究认为高温催化氧化法的高空白是造成该方法测定结果较高的原因 (Sharp,1993)。对 DOC 的高温催化氧化法的改进——空白校正,以及 cross-flow超滤技术 的应用,也大大促进了海洋胶体有机碳的研究,到了 90年代,关于 COC 研究的报道逐渐增 多起来(Benner et al,1992,1993; Guo et al,1994; Martin et al,1995)。从已有的研究报 道来看,胶体有机碳能占到总溶解有机碳的 5%—45%, COC 的浓度和 COC/DOC的比例 一般从表层到深层逐渐降低(Guo, et al,1994)。由于不同研究者所使用的分离方法、分离 超滤膜的材料、孔径大小及分析技术等不同,所得到的胶体有机碳的结果现在还难于进行 比较,因而对胶体有机碳的研究仍需加强不同实验室及不同分析方法的校正工作。

2.2 海洋中胶体有机碳的生物释放及利用

一些研究者在研究溶解有机碳的水平和垂直梯度变化时发现 DOC 有较快的生产和 消耗(Carlson *et al*, 1994; Peltzer *et al*, 1996),这说明在 DOM 贮池中有较大部分是较活 性的,但这与过去测得的 DOM 的表观¹⁴C 年龄 > 1 000a有些矛盾。直到有人将 DOM 进 一步分离胶体相和真溶解相以后,才发现胶体有机物质中有一部分¹⁴C 的年龄相对真溶解 相较新,¹⁴C 的年龄与有机物质的分子量分布有关(Benner *et al*, 1992; Santschi *et al*, 1995; Guo *et al*, 1996)。Moran 等 (1992, 1993)利用放射性核素²³⁴ Th(半衰期 24d)易吸附 在胶体上的性质,对海水中胶体的活性及周转速率进行研究发现胶体的周转速率相当快, 在几天到几周的数量级上。

有证据表明,海洋中胶体有机物的来源主要来自海洋本身和浮游植物光合作用的直接释放(Sigleo et al, 1981, 1983; Wells et al, 1991)。在一些高生产力海区,藻类爆发期间的COC浓度较高,海洋表层往往要高于深层。COC通过物理、化学及生物等过程发生迁移,其中微生物的吸收利用是其迁移的重要方式。例如,Amon等(1994)发现藻类爆发期间,在大分子有机碳的存在下,细菌的呼吸和对有机碳的利用分别是小分子有机物的6倍和3倍,他们认为高分子迁移的主要过程是细菌的矿化作用而不是颗粒物的聚集作用。但也有人认为海洋上层COC的迁移是通过物理和生物过程的耦合作用进行的。例如,Kepkay等(1993)在加拿大的Bedford海盆发现,在春天浮游植物爆发期间,混合层中的总溶解有机碳(DOC),分子量 > 10 000的胶体有机碳(COC)和 < 10 000的小分子有机碳(UOC)在爆发的开始,都有累积,在爆发最高期,总 DOC变化有一些偏差,UOC的最大值比叶绿素最大值滞后3~6d,COC最大值则滞后20d,且占总 DOC的16%,他们认为,在浮游植物爆发的最高期,大分子胶体有机物可能与浮游植物的聚集体一起絮凝,限制了DOC的累积;而在爆发后期,随着聚集体的沉降,混合层的底部 DOC最终会发生累积。这些报道表明,海洋中浮游植物的光合生产和微生物对胶体有机碳的吸收利用对海洋中溶解有机碳和胶体有机碳的快速生产和消耗有着直接贡献。

3 胶体氨

在过去几年里对海洋胶体有机碳的研究较多,只有少数研究也同时分析了胶体有机 氮的含量(Bauer et al, 1994,1996; Powell et al, 1996)。以往在研究海洋中有机物质循 环模型中,常采用 Redfield C/N计量比(7—10), Hansell(1993a, 1993b)的研究表明,大洋 表层海水的 DOM 的 C/N比(8—25)一般要比深海高。Bauer 等(1994)在通过对几个大洋 水样的总溶解有机物质(DOM)、胶体有机物质(COM)和真溶解低分子有机物质(TDOM) 的 C、N 成分进行分析显示,胶体有机部分的 N 较匮乏, C/N比为 20—22, 而低分子有机物 质的 N含量较丰富, C/N比为 2—5。这两部分有机化合物的分子组成目前还不清楚,但从 C/N比分析看,这些高分子胶体有机物质可能富含一些聚碳水化合物或类碳水化合物,而 低分子有机物可能是由一些与尿素和小分子氨基酸 C/N比相类似的分子组成。Kirchman 等(1991)认为,海水中 DON 的循环过程可能与 DOC 的不尽相同。Amon等(1994)发现细 菌在利用高分子胶体有机物质时会消耗大量的无机氮,与此相反,在利用低分子有机物质 时则会释放出无机氮。这表明高分子胶体有机物与低分子有机物在食物链传递过程中具 有不同的机理。

4 胶体痕量元素、放射性核素及有机污染物

海洋中胶体粒子含量较丰富,平均质量浓度 > 1mg/L(Guo et al, 1994),比深海中的 悬浮颗粒物的浓度还要高一个数量级。由于胶体粒径较小,比表面积较大,且富含大量的 有机官能团,易吸附一些放射性核素和具有生物活性的痕量金属及有机化合物到其表面 与之相结合。例如 Baskaran等 (1992)发现 Mexico 湾水体中的天然²³⁴Th 近 80%存在于胶 体相。在一些海洋沉积物空隙水中发现 PCB 主要与胶体结合 (Brownawell et al, 1986)。 Martin 等 (1995) 报道在 Venic Lagoon 近海岸水的总溶解痕量元素中有 34% 的 Cd, 46% 的 Cu, 87% 的 Fe, 18% 的 Ni, 56% 的 Pb, 54% 的 Mn 是以胶体形态存在的。 迄今为止,对痕量元素迁移循环的许多过程了解得是很有限的。这是因为在天然体系中,影响痕量元素在溶解相和吸附相之间分配的许多定量因素,目前还没有完全搞清楚。事实上,胶体可被看成富含各种不同类型官能团的配体,能与痕量元素发生络合,有人认为可用表面络合模型来描述胶体和金属间的相互作用(Davis et al,1990)。然而金属离子同天然络合剂(包括溶解的、胶体的、颗粒的等,指广范围意义上的络合剂)的热力学稳定常数是很难测定的。这是因为天然水中的各种配体粒子的表面具有非均匀性,即不同的亲合位置具有不同的亲合力,因此不可能用单一的配体稳定常数 K_i来描述天然水体中配体粒子与金属离子间的相互作用。Altmann et al(1988)曾采用具有权重意义的参数,一次微分强度参数 K^{*},也称条件稳定常数,其定义如下:

$$K^* = \frac{\sum_{i=1}^{n} K_i \theta_i (1 - \theta_i) \Delta X_i}{\sum_{i=1}^{n} \theta_i (1 - \theta_i) \Delta X_i}$$
(1)

其中 θ_i 是位置*i*被 *M*金属离子所占领的程度, K_i 为位置*i*与金属 *M*的络合常数, ΔX_i 为位置*i*的摩尔分数, K^* 随着体系状态的变化而变化。在金属滴定反应过程中, 影响 K^* 值的因素有:

 4合位置的组成。K*是一个具有权重数学意义的条件稳定常数,由公式(1)中的 K_i, ΔX_i两项可以看出,K*包括了所有类型位置的贡献,故那些络合能力强的或者出现比 例大的位置,比络合能力弱或者出现比例小的位置影响要大。

2)每种络合位置的占领程度。由公式(1)中的 θ_i 和(1 – θ_i)项中就可以看出其对 K*的影响。这一项在滴定过程中是连续变化的,即 K*是依赖于体系状态的。而对一些出现比例大的键合位置,其化学性质基本上是均匀的,它是由一种或几种官能团组成的,正因为如此,其与阳离子结合的净自由能 ΔG° 主要分布在一个很窄的范围内。由于化学结构比较单一,它们的净 ΔG° 变化主要是由物理因素引起的,例如由水合引起的胶体膨胀,大分子的伸缩等,这种物理因素引起的自由能的变化一般只有 1—21gK 单位,这种类型位置常见有:腐植酸和富里酸中的羧基和酚羟基;多糖和蛋白质中的羧基;=FeOH 表面的羟基 官能团等。因此可以采用物理化学假设的非连续模型,把它当成一种或几种配体来处理。

天然水化学参数的变化会导致胶体的聚集、再分散及溶解等,相应地会影响到与之相 结合的金属的迁移。Honeyman等(1989,1991)曾提出影响天然水体中元素的清除速率的 一个很重要过程是"胶体泵"(colloidal pumping)或"布朗泵"(Brownian pumping)作用,即 物质通过胶体中介由溶解存在形式向大的聚集物迁移的过程。这个过程主要分两步进 行:(1)金属与胶体表面快速形成络合物(例如吸附);(2)这些胶体慢慢地聚集絮凝成大颗 粒。"胶体泵"过程也具有可逆性,即元素通过胶体中介从颗粒相向溶解相迁移。例如, Nelson等(1985)报道天然水体中胶体有机碳会大大阻碍还原钍在悬浮沉积物上的吸附。 Martin等(1995)曾发现在 Venice Langoon河水和海水混合过程中,实际测量的溶解相中 的 Mn 并未有原先设想的絮凝现象。Yan 等(1992)对未过滤的河水与海水进行混合时发 现,在低盐度条件下,<0.4μm滤液中的铁含量增加,这有可能是河水和海水混合过程中 含铁的胶体聚集体发生了解絮引起的。溶解相与胶体相的相互作用在很大程度上决定着 痕量元素的分配,水体中丰富的有机物会增加胶体的稳定性,从而也影响着元素在水体中 的逗留时间。

5 结语

由上综述,可以初步看出海洋中胶体物质在有机物质、痕量元素、放射性核素及有机 污染物的生物地球化学循环中的重要作用。今后的研究趋势是进一步确定所研究的元素 和物质胶体相的存在,结合有机碳,研究这些元素和物质在各相中的分配,同时还需加强 不同实验室、不同分析方法以及不同分离方法间的互校工作,从而能够更深入了解这些物 质的循环过程。

参考文献

Amon R M W, Benner R, 1994. Rapid cycling of high-molecular-weight dissolved organic matter in the ocean. Nature, 369:549-552

Altmann R S, Buffle J, 1988. The use of differential equilibrium functions for interpretation of metal binding in complex ligand systems: its relation to site occupation and site affinity distribution. Geochim Cosmochim Acta, 52:1 502-1 519

Baker R W, Strathmann H, 1970. Ultrafiltration of macromolecular solutions with high-flux membranes. J Appl Polymer Sci, 14:1 197-1 214

Baskaran M, Santschi P H, Benoit G et al, 1992. Scavenging of thorium isotopes by colloids in seawater of the Gulf of Mexico. Geochim Cosmochim Acta, 56:3 375-3 388

Bauer J E, Druffel E R M, Williams P M, 1994. Seasonal isotopic (¹³C and ¹⁴C) signatures of dissolved and colloidal organic carbon in the eastern North Pacific Ocean. Trans Am Geophys Union, 75:236

Bauer J E, Ruttenberg K C, Wolgast D M et al, 1996. Cross-flow filtration of dissolved and colloidal nitrogen and phosphorus in seawater: results from an intercomparison study. Mar Chem, 55:33-52

Benner R, Pakulski J D, McCarthy M et al, 1992. Bulk chemical characteristics of dissolved organic mater in the ocean. Science, 255:1 561-1 564

Benner R, Hedges J I, 1993. A test of the accuracy of freshwater DOC measurements by high temperature catalytic oxidation and UV-promoted persulphate oxidation. Mar Chem, 41:161-165

Benoit G, Oktay-Marshall S K, Cantu A et al, 1994. Partitioning of Cu, Pb, Ag, Zn, Fe, Al and Mn between filter-retained particles, colloids and solution in six Texas estuaries. Mar Chem, 45:307-336

Blatt W E, Dravid A, Michalels A S et al, 1970. Solute polarization and cake formation in membrane ultrafiltration: causes, consequences and control formation techniques. In: J E Flinn ed. Membrane Science and Technology. Plenum, 47--97

Buesseler K O, Bauer R F, Chen T I et al, 1996. An intercomparison of cross-flow filtration techniques used for sampling marine colloids: Overview and organic carbon results. Mar Chem, 55:1-31

Brownawell B J, Farrington J W, 1986. Biogeochemistry of PCB's in interstitial waters of a coastal marine sediment. Geochim Cosmochim Acta, 50:157-169

Carlson C A, Ducklow H W, Michaels A F, 1994. Annual flux of dissolved organic carbon from the euphotic zone in the northwestern Sargasso Sea. Nature, 371:405-408

Carlson C A, Brann M L, Mague T H et al, 1985. Molecular weight distribution of dissolved organic materials in seawater determined by ultrafiltration: a re-examination. Mar Chem, 16:155-171

Chin Y P, Gschwend P M, 1992. Partitioning of polycyclic aromatic hydrocarbons to marine porewater colloids. Environ Sci Technol, 26:1621-1626

Dai M, Martin J M, Cauwet G, 1995. The significant role of colloids in the transport and transformation

of organic carbon and associated trace metals (Cd, Cu and Ni) in the Rhone delta, France. Mar Chem, 51:159----175

Davis J A, Kent D B, 1990. Surface complexation modeling in aqueous geochemistry. In: Hochella M F and White A F ed. Mineral-water interface Geochemistry. Rev Mineral, 23:177-260

Goldberg E D, Baker M, Fox D L, 1952. Microfiltration in oceanographic research, 1. Marine sampling with the molecular filter. J Mar Res, 11:194-203

Goldberg E D, 1954. Marine geochemistry, 1. Chemical scavengers of the sea. J Geol, 62:249-265

Guo L, Coleman Jr C H, Santschi P H, 1994. The distribution of colloidal and dissolved organic carbon in the Gulf of Mexico. Mar Chem, 45:105-119

Guo L, Santschi P H, 1996. Cycling of high molecular weight dissolved organic matter in the middle Atlantic Bight. Limnol Oceanogr, 41(6):1 242-1 252

Hansell D S, 1993a. Results and observations from the measurement of DOC and DON in seawater using a high-temperature catalytic oxidation technique. Mar Chem, 41:195-202

Hansell D A, Williams P M, Ward B B, 1993b. Measurements of DOC and DON in the Southen California Bight using oxidation by high temperature combustion. Deep-sea Res, 40:219-234

Honeyman J T, Santschi P H, 1989. A "Brownian-pumping" model for oceanic trace metal scavenging: evidence from Th isotopes. J Mar Res, 47:951-992

Honeyman J T, Santschi P H, 1991. Coupling adsorption and particles aggregation laboratory studies of colloidal pumping using Fe-labeled hematite. Environ Sci Technol, 25:1 739-1 747

Kepkay P E, Niven S E H, Milligan T G, 1993. Low molecular weight and colloidal DOC production during a phytoplankton bloom. Mar Ecol Prog Ser, 100:233-244

Kirchman D L, Suzuki Y, Garside C et al, 1991. High turnover rates of dissolved organic carbon during a spring phytoplankton bloom. Nature, 352:612-614

Koike I S, Hara S, Teauchi K et al, 1990. Role of sub-micron particles in the ocean. Nature, 345:242-244

Krogh A, 1930. Eine Mikromethode für die organische verbrennungsanalyse, besonders von gelösten Substanzen. Biochem Z, 221:247-263

Krogh, A E, Lange, 1931. Quantitative untersuchungen über Plankton, Kolloide and gelöste organische und anorganische substanzen in dem Furesee. Int Rev Ges Hydrobiol, 26:20-53

Martin J M, Dai M H, Cauwet G, 1995. Significance of colloids in the biogeochemical cycling of organic carbon and trace metals in the Venice Lagoon (Italy). Limnol Oceanogr, 40(1):119-131

Maurer L G, 1976. Organic polymers in seawater: changes with depth in the Gulf of Mexico. Deep-Sea Res, 23:1 059-1 064

Moran S B, Buesseler K O, 1992. Short residence time of colloids in the upper ocean estimated from ²³⁸U-²³⁴ Th disequilibria. Nature, 359:221-223

Moran S B, Buesseler K O, 1993. Size fractionated ²³⁴Th in continental shelf waters off New England: Implications for the role of colloids in oceanic trace metal scavenging. J Mar Res, 51:893-922

Moran S B, Moore R M, 1989. The distribution of colloidal aluminum and organic carbon in coastal and open ocean waters off Nova Scotia. Geochim Cosmochim Acta, 53:2 519-2 527

Nelson D M, Penrose W R, Karttunen J O et al, 1985. Effects of dissolved organic carbon on the adsorption properties of plutonium in natural waters. Environ Sci Technol, 19:127-137

Peltzer E T, Hayward N A, 1996. Spatial and temporal variability of total organic carbon along 140°W in the equatorial Pacific Ocean in 1992. Deep-Sea Res II, 43:1155-1180

Powell R T, Landing W M, Bauer J E, 1996. Colloidal trace metals, organic carbon and nitrogen in a southeastern U.S. estuary. Mar Chem, 55:165-176

| Santschi P H, Guo L, Baskaran M et al, 1995. Isotopic evidence for the contemporary origin of |
|---|
| high-molecular weight organic matter in oceanic environments. Geochim Cosmochim Acta, 59(3):625-631 |
| Sharp J H, 1993. The dissolved organic carbon controversy: An update. Oceanography, 6(2):42-50 |
| Sigleo A C, Helz G R, 1981. Composition of estuarine colloidal material: Major and trace elements. |
| Geochim Cosmochim Acta, 45:2 501-2 509 |
| Sigleo A C, Hare P E, Helz G R, 1983. The amino acid composition of estuarine colloidal material. |
| Estuarine Coastal Shelf Sci, 17:87-96 |
| Sugimura Y, Suzuki Y, 1988. A high temperature catalytic oxidation method of non-volatile dissolved |
| organic carbon in seawater by direct injection of liquid samples. Mar Chem, 24:105-131 |
| Whitehouse B G, Yeats P A, Strain P M, 1990. Cross-flow filtration of colloids from aquatic environments. |
| Limnol Oceanogr, 35(6): 1 368-1 375 |
| Wells M L, Goldberg E D, 1991. Occurrence of small colloids in seawater. Nature, 353:342-344 |
| Wells M L, Goldberg E D, 1992. Marine submicron particles. Mar Chem, 40:5-18 |
| Wells M L, Goldberg E D, 1994. Distribution of colloids in the North Atlantic and southern oceans. |
| Limnol Oceanogr, 39:286-302 |
| Yan L, Stallard R F, Crerar D A et al, 1992. Experimental evidence on the behavior of metal bearing |
| colloids in low-salinity estuarine water. Chem Geol, 100:163-174 |

Zsolnay A, 1979. Coastal colloidal carbon: A study of its seasonal variation and the possibility of river input. Estuarine Coastal Mar Sci, 9:559-567

NEW ADVANCES IN STUDIES ON MARINE COLLOID

ZHAO Wei-hong

(Institute of Oceanology, The Chinese Academy of Sciences, Qingdao, 266071)

Abstract Over the last decade, studies of marine colloids have increased dramatically. This paper reviews the advances in this field. The application of cross-flow ultrafiltration to marine systems has promoted the further studies on marine colloid. There are abundant sub-um size colloids in seawater, which can comprise a significant fraction of dissolved organic matter (DOM). Because the marine DOM reservoir is comparable in size to the atmospheric carbon pool and since at least some fractions may have high turnover rates, processes which influence marine DOM may have significant ramifications to global carbon studies. Part of the renewed interest in colloid organic matter stems from improvements in marine organic carbon analysis. Colloid organic carbon (COC) and other related studies become the main trend of the marine colloid studies. The COC researches emphasizes the size of COC pool, the source and destination of COC. The colloid organic nitrogen studies have been fewer than that of colloid organic carbon. However, the only several papers have shown that there is scarce nitrogen in colloid phase and rich in truly dissolved phase, with the material compositions being different in the two phases. In addition to bulk organic carbon and nitrogen, there is evidence that bioactive metals and specific organic compounds are associated with marine colloids. Colloids not only give high abundance and tremendous surface area which can sorb trace metals and hydrophobic organic compounds, but also have an important role as reactive intermediaries between particulate phase and truly dissolved phase. Since colloid might play an important role in biogeochemical cycling of organic carbon, nitrogen, trace metal, radionuclide and organic pollutants etc, it will be of far-reaching significance in understanding the cycling processes of material in the ocean.

Key words Marine Colloid New advances Subject classification number P734