

沉积物捕捉器的设计和应用*

詹滨秋 李鹏程 任建伟

(中国科学院海洋研究所, 青岛, 266071)

近 20 年来实践证明, 沉积物捕捉器 (Sediment trap) 的应用对于化学海洋学和生物海洋学的发展起着一定的推进作用^[1]。早在 1888 年 Agassiz 就假设“来自表层的生物碎屑‘雨’饲养深海的生物”。大多数的海洋生物学家设想, 有机碎屑“雨”是深海栖息者所需能量的逻辑来源, 他们希望通过研究有机物碎屑, 从而了解食物的垂直传递过程。海洋化学家同样也注意到许多元素、放射性核物质及化合物通过与碎屑组合, 从溶解态变成颗粒, 从表层转移到底部等现象。但是, 长期以来, 证明有机碎屑“雨”存在的努力都失败了, 因而有关有机物质垂直转移机理就成了海洋生物和海洋化学领域的一个重要的待解决的问题。定性、定量研究海洋中颗粒物质的垂直通量, 对于认识海水中物质的沉积过程具有重要的意义。多年来, 人们认识到^[6], 用传统的海洋调查方法难于有效地捕捉大而快速沉降的颗粒物质, 需要有新的搜集手段——沉积物捕捉器, 以研究快速沉降的有机碎屑雨的性质^[8], 不同层次的海洋通量。近 20 年来, 应用沉积物捕捉器在一些领域中取得了成果^[12]。

1. 理论分析

众所周知, 海水中沉降的颗粒物质不仅受到重力作用, 同时也受到流作用。当将捕捉器放置在海水

中, 它周围的流场将受到阻碍和扰动。多数情况下, 由于捕捉器的阻挡, 周围的流将加速, 并受到分散 (图 1)^[4], 此时, 在捕捉器开口处, 流速加大, 压力减小。当捕捉器上方的压力梯度和分散作用足够大时, 海水在捕捉器周围将产生涡动, 涡流沿着捕捉器的外壁旋转进入捕捉器底部, 从而引起捕捉器内的静止水产生运动。涡动的大小和频率取决于捕捉器的几何形状和流场的特性, 由涡动引起流场变化, 严重地影响了海洋中沉降的悬浮颗粒, 控制着水体的交换和停留时间。因此, Butman 等人^[3]提出了捕捉器设计中的 6 个参数: (1) 流速 (u); (2) 捕捉器开口外径 (D); (3) 流体运动学粘度系数 (ν); (4) 捕捉器高度 (H); (5) 颗粒重力沉降速度 (w); (6) 捕捉器开口内径 (d)。对于典型的圆柱形捕捉器, 可用 3 个综合参数表示:

$$Rt = uD/\nu$$

$$A = H/D$$

流速与沉降速度比: u/w

式中, Rt 为雷诺数; A 为外形比。公式中最主要的几何参数是 Rt 和 A 。 D 同时影响 Rt 和 A 。

由图 1 看出, 容器上方产生涡动后, 造成一个低压区, 而形成下降流, 起着二级控制作用, 控制水体的交换和停留时间。水体的交换和停留时间取决于容器的形状。

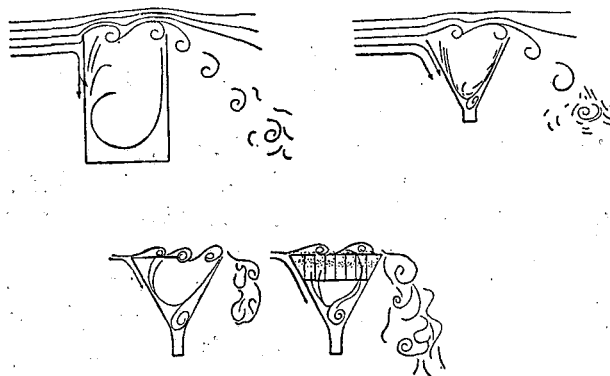


图 1 捕捉器内外流线的特征

* 本文曾在 1989 年 12 月全球海洋通量联合研究中国委员会第二次会议上作专题学术报告。
中国科学院海洋研究所调查研究报告第 1828 号。

图2表明, D 的大小直接影响捕捉颗粒效果。因此采用雷诺数来选择足够大的 A , 以保证捕捉器免受涡动影响, 提高捕捉效率, 防止已收集在底部的样品再悬浮。但随着 R_t 的增加, 捕捉效率下降, 因而 R_t 不能无限地增加。 R_t 和 A 是两个相互联系又相互制约的参数。实验表明^[12], 雷诺数只有限制在较狭窄的范围内(2 000—20 000)才能保证捕捉效率免受流速的影响。因此, R_t 相对较大($>10^3$), A 应该大于 3。

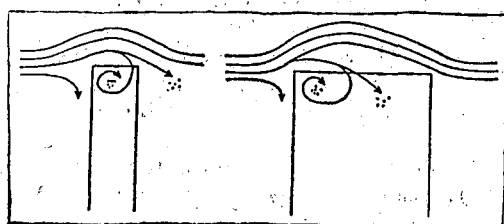


图2 捕捉器口径对捕捉效果的影响^[2]

II. 设计的基本要求

II.1. 为保证收集各种颗粒度的沉降物质, 必须要最大限度地减少捕捉器内外的涡动和防止沉积物的再悬浮。由于捕捉效率取决于悬浮体的浓度、颗粒的大小和密度、捕捉器的几何形状以及流速, 因而必须进行实验室和现场研究, 马萨得斯技术学院和伍兹霍尔海洋研究所曾共同进行了如下研究^[4]: (1)捕捉器的几何形状与捕捉效率的关系; (2)捕捉时间、流速与捕捉效率的关系; (3)不同流速下的各种漏斗形捕捉器的捕捉效率等动力学实验。

II.2. 要求足够大的开口面积, 使得捕捉器能在预定的投放时间内收集足够量的样品。列举一些海域的颗粒物通量(单位为 $\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$)的大约范围^[1, 6, 7, 10, 13]: 北太平洋、大西洋为 500—100, Saragasso 海为 40, 巴拿马海盆地为 500—1 000, Funka 湾(日本)为 2900—24000, 萨尼奇湾(加拿大)为 700—6 000 $\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 。

II.3. 要求时间系列控制系统可靠和具有较大范围的可调性^[3]。这是因为通量研究要求获得月、季度以至年度变化资料, 所以要求捕捉器必须具备定时分步收集的功能。时间控制系统是准确无误地工作的重要部分, 目前主要由石英定时控制器和微型计算机控制系统组成时间控制系统。

II.4. 要求分步收集样品, 分别贮存, 并与周围的海水隔离, 能安全回收。

II.5. 捕捉器的材料和结构应适应于在海洋任何正常深度下投放。

II.6. 要求能运用普通的海洋调查船进行投放和回收。

III. “蜂窝巢”在捕捉器中的作用

实验室和现场研究证明^[1], 设置“蜂窝巢”大大提高了漏斗形捕捉器的效率, 特别是捕捉小于 $63\mu\text{m}$ 的颗粒更为有效。因此, 蜂窝巢在大洋研究中得到了普遍的应用。但是, 目前对蜂窝巢效果的研究还十分不足, 例如它对捕捉效率 R_t 和 A 的影响, 以及什么形状的蜂窝巢最佳等。

IV. 目前世界上常用的几种捕捉器

IV.1. 圆柱形捕捉器

适用于物质通量较大的近海和海湾, 中国科学院海洋研究所、加拿大海洋科学研究所和哥伦比亚大学以及日本的 Tsunogai^[11] S. 等人都长期使用过。其特点是开口面积小、结构紧凑、成对悬挂、投放和回收简便。直径一般为 20cm 左右, H/D 为 3—3.5。不能分步捕捉样品。

IV.2. 梅花形捕捉器^[9]

其外形与圆柱形捕捉器相似, 但直径小, H/D 大。具备圆柱形捕捉器的特点, 配置蜂窝巢。

IV.3. 圆柱形与漏斗形组合捕捉器

由日本的 K. Iseki 博士设计^[8], 曾用于白令海有机碳海洋通量研究。体形为圆柱形与漏斗形的组合, 开口面积较前两种大, 不配备蜂窝巢, 但是配有密封盖, 投放时打开密封盖, 回收前, 借用使锤启动, 将捕捉器的开口覆盖。

IV.4. 漏斗形捕捉器

美国伍兹霍尔海洋研究所 S. Honjo 博士设计的三种尺度的漏斗形捕捉器(Mark 2, Mark 5 和 Mark 6)是该类型的代表^[7]。具有分步捕捉的功能, 可以投放 1a, 以至更长, 设有 12 个搜集杯。时间系列控制系统准确、可靠, 又称时间系列捕捉器。它们已先后应用于北太平洋、大西洋、北冰洋、Saragasso 海和巴拿马海盆地等海域的海洋物质通量研究。Mark 2, Mark 5 和 Mark 6 的结构和性能基本一样, 不同之处在于所用材料不同, 分步捕捉控制系统不同, 方法和开口面积不同。

海洋通量研究已成为世界海洋学研究的三大主要课题之一。沉积物捕捉器是研究海洋通量(垂直通量)的基本可靠手段, 我国的少数单位已开始设计和使用这种设备, 但是还不成熟, 特别是今后将从事海洋通量的年季变化研究, 需要采用微程序动力控制的时间系列捕捉器, 因而本文论述了沉积物捕捉器设计的基本原理和目前国内外运用捕捉器的研究动向, 以有利于国内有关单位参考和运用, 促进这个研究领域的发展。

参 考 文 献

- [1] Bishop, J. K. B., Collier, R. W., Kettens, D. R. and Edmond, J. M., 1980. The chemistry, biology and vertical flux of particulate matter from the upper 1 500 m of Panama Basin. *Deep-Sea Res.* 27A: 615-640.
- [2] Blomqvist, S. and Kofoed, C., 1981. Sediment trapping—a subaquatic in-situ experiment. *Limnol. Oceanogr.*, 26: 585-590.
- [3] Butman, C. A., 1986. Sediment trap biases in turbulent flows: results from a laboratory flume study. *J. Mar. Res.*, 44: 645-693.
- [4] Gordner, S. W., 1980. Sediment trap dynamics and calibration: A lab. evaluation. *J. Mar. Res.*, 38: 17-39.
- [5] Harding, G. C. H., 1974. The food of deep-sea copepods. *J. Marine Biological Association of United Kingdom*, 54: 141-155.
- [6] Honjo, S., 1978. Sedimentation of materials in the Sargasso Sea at a 5 367 m deep station. *J. Mar. Res.*, 36: 469-492.
- [7] Honjo, S. and Doherty, S. W., 1988. Large aperture time-series sediment traps. *Deep-Sea Res.*, 35: 133-149.
- [8] Iseki, K., 1981. Vertical transport of particulate organic matter in the deep Bering Sea and Gulf of Alaska. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, 37: 101-108.
- [9] Knauer, G. A., Martin, J. H. and Bruland, K. W., 1979. Fluxes of particulate carbon, nitrogen, and phosphorus in the upper water column of the northeast Pacific. *Deep-Sea Res.*, 26: 97-108.
- [10] Knauer, G. A., Karl, D. M., Martin, J. H. and Huter, C. N., 1984. In situ effect of selected preservatives on total carbon, nitrogen and metals collected in sediment traps. *J. Mar. Res.*, 42: 445-462.
- [11] Tsunogai, S., Uematsu, M., Tanaka, N., Harada, K., Tanoue, E. and Handa, N., 1980. A sediment trap experiment in Funka Bay, Japan: “upward flux” of particulate matter in seawater. *Mar. Chem.*, 9: 321-334.
- [12] U. S. GOFS. Working group, 1989. Sediment trap technology and sampling. U. S. GOFS Planning Report, 10.
- [13] Zhan, B., Wong, C. S. and Johnson, W. K., 1989. Sea fluxes of trace metals in anoxic sea water, Saanich Inlet, British Columbia, Canada. *Chinese J. Ocean. Limn.*, 7: 345-354.