

底部边界层颗粒态物质迁移特征的放射性核素分析方法*

李 炎 G.W. Berger¹

(中国国家海洋局第二海洋研究所, 杭州310012)

(¹ 荷兰海洋研究所, Texel)

收稿日期 1991 年4月9日

关键词 底部边界层, 颗粒态物质, 放射性核素, 扩散方程

利用颗粒态放射性核素携带的颗粒物历过程信息, 我们提出用泥沙扩散方程和颗粒态放射性核素扩散方程联解底部边界层颗粒态物质迁移参数的方法。分析实例的样品取自荷兰Wadden Sea 南部Balgzand 潮滩(砂坪)和Mok 湾潮滩(泥坪)的两个站位(BG1 和Mok2)。示踪核素为²³⁴Th, ²¹⁰Pb 和¹³⁷Cs, 其放射性比度由 γ 能谱测出。

1 底部边界层的颗粒态物质分布

Wadden Sea 潮滩水体中的悬浮泥沙含量一般为20 ~ 100 mg/L, 底部边界层则从200 mg/L 增至1 000 mg/L 以上, 出现高梯度变化。载于颗粒物上的放射性核素, 在上层水体中比度变化很小, 但在底部边界层却出现3 种分布状态。第一种为向下递减剖面, 主要出现于常态条件下; 第二种为向下递增剖面, 出现于风暴条件下砂坪的²¹⁰Pb 剖面上; 第三种为放射性

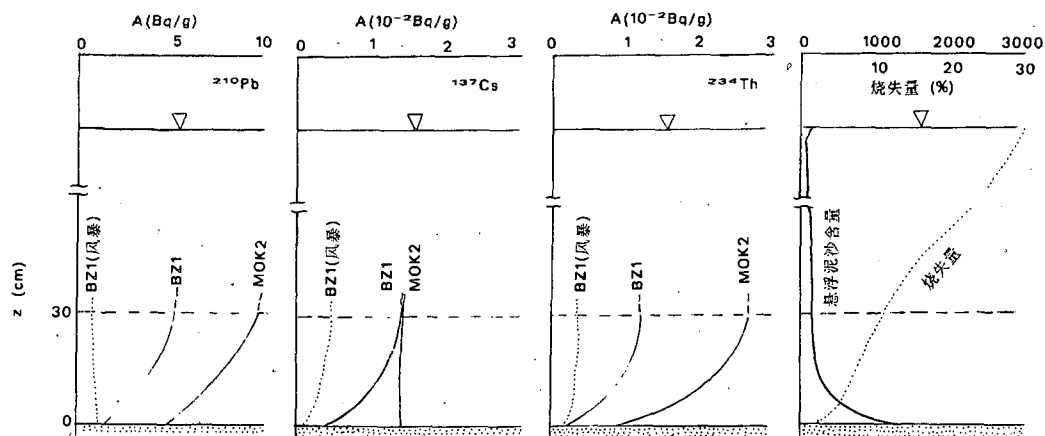


图1 底部边界层附近的¹³⁷Cs, ²¹⁰Pb, ²³⁴Th放射性比度及悬浮泥沙和烧失量的垂向分布
Fig.1 Profiles of ¹³⁷Cs, ²¹⁰Pb, ²³⁴Th, suspended sediment and ash-free in the boundary layer and adjacent layers

* 中荷潮滩沉积作用合作研究项目专题之一。

比度基本稳定的“保守”剖面, 出现于常态条件下泥坪的 ^{137}Cs 分布上(图1)。

2 底部边界层颗粒态物质迁移的描述方程

据泥沙动力学观点, 近底层泥沙垂向交换受扩散和沉降作用的共同影响, 泥沙的垂向分布可由包含扩散项和沉降项的扩散方程描述^[1]。但是颗粒态放射性核素的交换过程, 除受载体——泥沙交换直接影响外, 还包括了衰变和吸附解吸等独立于载体行为的变化。即使在净沉积速率为零, 泥沙向上的扩散和向下的沉降作用相互抵消的平衡条件下, 颗粒态核素仍保留着与溶解态间的吸附解吸变换以及核素的衰变过程: 当摄取过程为主时将形成上述第一种剖面; 当解吸过程和衰变过程为主时形成第二种剖面; 当摄取与衰变作用相互抵消时则形成第三种剖面。用泥沙和颗粒态核素的扩散方程组表示则为:

$$\begin{cases} D(dc/dz) + \omega C = 0 \\ D(d^2I/(dZ)^2) + \omega (dI/dZ) + [q/(C'k_d) - \lambda] I = 0 \\ I = CA \end{cases} \quad (1)$$

式中 C 为悬浮泥沙含量, Z 是测点在沉积界面以上的高度, ω 是泥沙群体沉降速度, D 是泥沙扩散系数, I 是颗粒态放射性核素在水体中的体积浓度, q 为清除速度, C' 为悬浮泥沙的平均含量, k_d 是颗粒态/溶解态核素的分配系数, λ 为衰变常数, A 为核素的放射性比度。

在 $D \geq 0, \omega \geq 0, |q/C'k_d - \lambda| < \infty$ 的取值范围内, 符合边界条件:

$$Z = 0, A = A'', C = C'', I = I''$$

$$Z = \infty \begin{cases} A = \infty, C = 0, I = 0; \text{ (当 } q/C'k_d > \lambda, \text{ 第一种剖面)} \\ Z = \infty A = A'', C = 0; \text{ 当 } q/C'k_d = \lambda, \text{ 第二种剖面)} \\ A = 0, C = 0, I = 0; \text{ (当 } q/C'k_d < \lambda, \text{ 第三种剖面)} \end{cases}$$

其解为(式中 $k = q(C'k_d) - \lambda$):

$$\begin{cases} A/A'' = \exp(((\omega - \sqrt{\omega^2 - 4DK})/2D)Z) \\ C/C'' = \exp((- \omega / D)Z) \\ I/I'' = \exp(((- \omega - \sqrt{\omega^2 - 4DK})/2D)Z) \end{cases} \quad (2)$$

因此, 该系统的基本参数(清除速度 q 、沉降速度 ω 和扩散系数 D), 可由 q, ω, D 相同但衰变常数 λ 不同的放射性核素剖面求出。最简单的情况, 仅考虑底部边界层上部测点(放射性比度为 A_i)和临底测点(放射性比度为 A_i''), 计算公式为(式中 $K_i = C'k_d$, $a_i = (2/Z) \ln(A_i/A_i'')$):

$$\begin{cases} D = 4 \times \frac{(K_2 a_2 - K_3 a_3) k_1 \lambda_1 + (k_3 a_3 - k_1 a_1) k_2 \lambda_2 + (k_1 a_1 - k_2 a_2) k_3 \lambda_3}{k_1 a_1 k_2 a_2 (a_1 - a_2) + k_2 a_2 k_3 a_3 (a_2 - a_3) + k_3 a_3 k_1 a_1 (a_3 - a_1)} \\ \omega = \frac{(k_1 a_1^2 - k_2 a_2^2) D - 4(k_1 \lambda_1 - k_2 \lambda_2)}{2(k_1 a_1 - k_2 a_2)} \\ q = \frac{k_1(a_1^2 D - 2a_1 \omega - 4\lambda_1)}{4} \end{cases} \quad (3)$$

3 计算实例

根据式(3)和图1所示 ^{137}Cs 和 ^{210}Pb ^{234}Th 剖面计算的底部边界层颗粒态物质沉降速度、扩散系数和清除速度列于表1。计算时采用的分配系数 k_d 为Wadden Sea及邻近海区平均水平,其中 ^{137}Cs 取 10^3 , ^{210}Pb 和 ^{234}Th 均取 10^6 。边界层厚度取30 cm。

表1 扩散系数、沉降速度和清除速度计算值

站位	扩散系数 $D(\text{cm}^2/\text{s})$	沉降速度 $\omega(\text{cm/s})$	清除速度 $q(\text{S}^{-1})$
BA1(常态)	7.56×10^{-4}	3.59×10^{-5}	1.79×10^{-7}
BZ1(风暴)	2.74×10^{-2}	3.80×10^{-5}	1.04×10^{-6}
MOK2(常态)	4.61×10^{-4}	1.04×10^{-5}	3.68×10^{-10}

结果表明,边界层的扩散系数介于沉积物混合层与上层水体^[1]的之间,颗粒的交换能力在界面附近向上递增;边界层的颗粒物沉降速度仅在 10^{-5} cm/s 量级。Mok 2站极低的清除速度说明,泥坪环境的溶解态核素很难进入散射性比度已相当高的颗粒态中;而BZ1站的相对高值说明

砂坪环境内底沙的再悬浮可以提供足够的“干净”颗粒去清除水体中的核素。风暴条件下扩散系数可比常态增加1~2个数量级,清除速度也增加一个数量级,底沙再悬浮形成的清除能力更为重要。

参考文献

- [1] 钱宁、万兆惠, 1983。泥沙运动力学。科学出版社。

RADIOISOTOPE AS TRACERS FOR PARTICULATE MATTER TRANSPORTATION IN THE BOUNDARY LAYER

Li Yan and G.W. Berger¹

(Second Institute of Oceanography, SOA, Hangzhou 310012)

(¹ Netherlands Institute for Sea Research, Texel, The Netherlands)

Received: Apr. 9, 1991

Key Words: Boundary layer, Particulate matter, Radioisotopes, Diffusion equation

Abstract

The parameters of particulate matter transportation in the boundary layer of coastal system, including the vertical diffusion coefficient, the mass settling velocity and the scavenging rate, could be estimated from the vertical structure both of suspended sediment and particulate radioisotopes tracers by their diffusion equations. The profiles of ^{234}Th , ^{210}Pb and ^{137}Cs in the tidal flats of the Wadden Sea are selected and discussed as an example for this method.