

# Homework 1

研-MS6501-440-M01-化学海洋学 (2021 秋)

截止时间: 2021-12-09 23:59

共 3 题, 每题 5 分, 共 15 分

- Homework 1
  - Question 1
  - Question 2
  - Question 3

## Question 1

已知海水中金 (Au) 元素的平均浓度为  $0.057 \mu\text{mol}/\text{m}^3$ , 全球河流中金的平均浓度为  $0.01 \mu\text{mol}/\text{m}^3$ 。

- (1) 计算全球海水的总体积, 并计算全球海洋中一共溶解有多少吨的金。
- (2) 计算金元素在海水中的平均停留时间 (residence time), 并与全球海水混合的时间尺度做比较。

**Answer:**

- (1) 全球海水总体积

$$\begin{aligned}V_{\text{oc}} &= 71\% \times 4\pi R_{\text{E}}^2 \bar{D} \\ &= 0.71 \times 4\pi \times (6371 \times 10^3)^2 \times 3500 \\ &= 1.3 \times 10^{18} \text{ (m}^3\text{)}.\end{aligned}\tag{1}$$

全球海洋共溶解有  $V_{\text{oc}}C_{\text{oc}} = 1.3 \times 10^{18} \times (0.057 \times 10^{-6}) \times (197 \times 10^{-3}) = 1.46 \times 10^{10} \text{ kg}$  或  $1.46 \times 10^7 \text{ t}$  的金。

- (2) 金元素在海水中的平均停留时间

$$\begin{aligned}\tau &= \frac{V_{\text{oc}}C_{\text{oc}}}{v_{\text{r}}C_{\text{r}}} \\ &= \frac{1.3 \times 10^{18} \text{ m}^3 \times 0.057 \mu\text{mol}/\text{m}^3}{3.7 \times 10^{13} \text{ m}^3/\text{yr} \times 0.01 \mu\text{mol}/\text{m}^3} \\ &= 2.0 \times 10^5 \text{ yr}.\end{aligned}\tag{2}$$

可见  $\tau$  远大于全球海水混合的时间尺度 (1000 - 1500 yrs), 故海洋中的金元素基本上是保守 (conservative) 的。

## Question 2

某实验室现有一个  $5^\circ\text{C}$  的海水样品共 3L, 和一个  $25^\circ\text{C}$  的海水样品 1L, 两者均与空气达到气体交换的平衡状态。

(1) 分别计算两个海水样品中溶解了多少 mol 的 Ar 气体。

(2) 现在在封闭和绝热条件下将两个海水样品充分混合, 则混合后的温度为多少? 混合后的溶液中 Ar 处于不饱和、饱和还是过饱和状态? 为什么?

(3) 若允许混合后的样品与空气接触, 则最终有多少 Ar 气体发生交换? 交换的方向是进入溶液还是逸出溶液?

**Answer:**

(1) 氩气在  $\{5, 25\}^\circ\text{C}$  海水中的溶解度  $S = \{1665, 1142\} \text{ mmol} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{atm}^{-1}$ . 根据 Henry's Law,  $\{3, 1\} \text{ L}$ ,  $\{5, 25\}^\circ\text{C}$  的海水样品中溶解了  $\{1665, 1142\} \times 10^{-3} \times 0.934\% \times \{3, 1\} \times 10^{-3} = \{4.665, 1.067\} \times 10^{-5} \text{ mol}$  的 Ar 气体。

(2) 认为两个海水样品 (分别编号 1, 2) 的比热和密度近似相等, 则在封闭、绝热条件下, 充分混合时有  $c_p \rho_1 V_1 (T' - T_1) + c_p \rho_2 V_2 (T' - T_2) = 0 \Rightarrow$

$$T' = \frac{V_1 T_1 + V_2 T_2}{V_1 + V_2} = \frac{3 \times 5 + 1 \times 25}{3 + 1} = 10^\circ\text{C}. \quad (3)$$

这时, 混合溶液中 Ar 气体的质量  $4.665 + 1.067 = 5.732 \times 10^{-5} \text{ mol}$  已超过混合溶液温度 ( $10^\circ\text{C}$ ) 下的饱和质量  $1492 \times 10^{-3} \times 0.934\% \times 4 \times 10^{-3} = 5.574 \times 10^{-5} \text{ mol}$ , 故混合溶液处于过饱和状态。

(3) 若允许混合后的样品与空气接触, 则最终有  $(5.732 - 5.574) \times 10^{-5} = 1.580 \times 10^{-6} \text{ mol}$  的气体逸出溶液。

## Question 3

简述简单的一盒子模型和两盒子模型的基本设定, 以及它们在解释海水化学组成、元素分布和循环中的作用及局限性。

**Answer:**

- 一盒子模型

- **基本设定**：海洋是一匀质“水缸”；这水缸有一个入口（河流入海口）和一个出口（物质沉积到海底）
- **为简化而进一步假定**：海水体积恒定；河流入海口体积流量恒定；河流入海口物质流量恒定；物质向海底的沉积率（清除率，单位时间离开海洋的物质）以常数正比于该物质在海洋中的总量
- **作用**：一盒子模型可用于解释：1) 不同物质在海洋中的浓度差异；2) 滞留时间 (residence time)；3) 较短时间内，海洋中各物质的浓度基本保持恒定的机制；4) 海洋中各物质的浓度的长期变化机制。

“A 1-box bathtub ocean model with constant river input and first-order removal rate can be used to understand the concentrations of different elements in the ocean, their residence time, and how their mass balance can be maintained.” (来源：课件)

- **局限性**：该模型假定海洋是匀质的，忽略了海洋中的物质循环过程和生消过程，故不能解释海洋中各物质浓度的空间变异

“The 1-box bathtub model can describe the basic mass balance of elements in the whole ocean, but it does not account for the internal cycling of elements, and therefore cannot explain the spatial distribution of elements within the ocean.

“The internal cycling of elements is especially important for biologically relevant nutrients.” (来源：课件)

## • 二盒子模型

- **基本设定**：海洋由匀质的上层“水缸”和匀质的深层“水缸”组成；在两层界面上，存在 *biological export* 和 *water exchange* 这两种物质交换方式
- **为简化而进一步假定**：两个“水缸”体积恒定
- **作用**：该模型考虑了海洋中物质的垂直输运和交换，考虑了生物泵的作用，故可解释海洋中物质浓度的垂直变异
- **局限性**：该模型忽略了海洋中物质的水平输运和交换，特别是忽略了 The Global Overturning Circulation (GOC)，故不能解释海洋中物质浓度的水平变异

“A 2-box or 3-box ocean model is developed to understand the internal distribution and cycling of tracers within the ocean, and is extremely relevant for nutrients.

“The exchange timescale and rate between the surface and deep ocean can be obtained through the 2-box ocean model in combination with a radiometric tracer like  $^{14}\text{C}$ .” (来源：课件)