

# 2021年青年教师教学竞赛参赛课程

## 《海洋地质学》

Marine Geology

海洋地质与资源研究所

Institute of Marine  
Geology and Resources

陈雪刚

Xuegang  
Chen

副教授

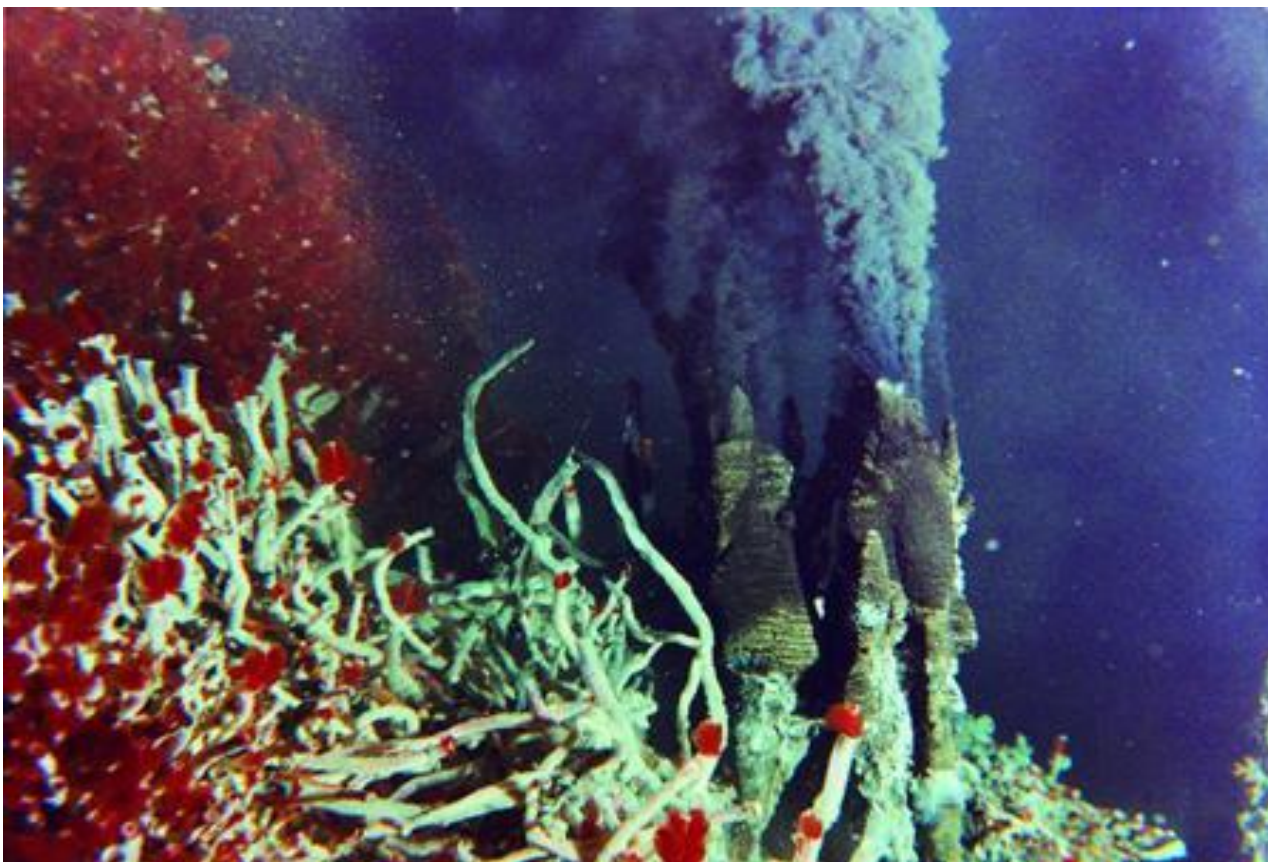
Associate Professor





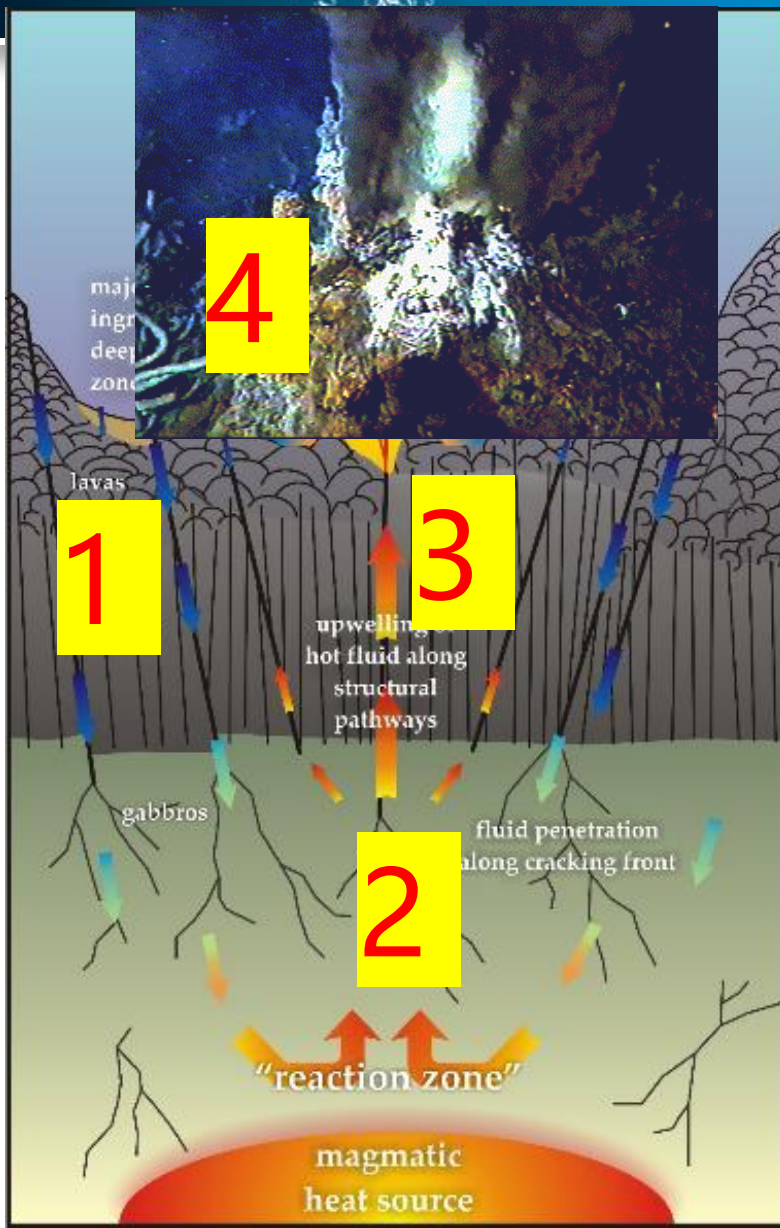
# 海底热液体系

- 海底热液活动的形成机理
- 热液端元浓度的计算





# 海底热液活动的形成机理



Hydrothermal fluids mixing  
with seawater

$T \approx 2^\circ\text{C}$

High pH

„Black Smoker“ vents

$T > 250^\circ\text{C}$

Recharge Zone

$-\text{Mg}^{2+}$   
 $-\text{SO}_4^{2-}$

water-rock interaction

Reaction Zone

$+\text{Fe}^{2+}$   
 $+\text{Mn}^{2+}$   
 $+\text{Cu}^{2+}$   
 $+\text{Zn}^{2+}$   
 $+\text{Pb}^{2+}$   
 $+\text{REEs}$   
 $+\text{H}_2$   
 $+\text{CH}_4$

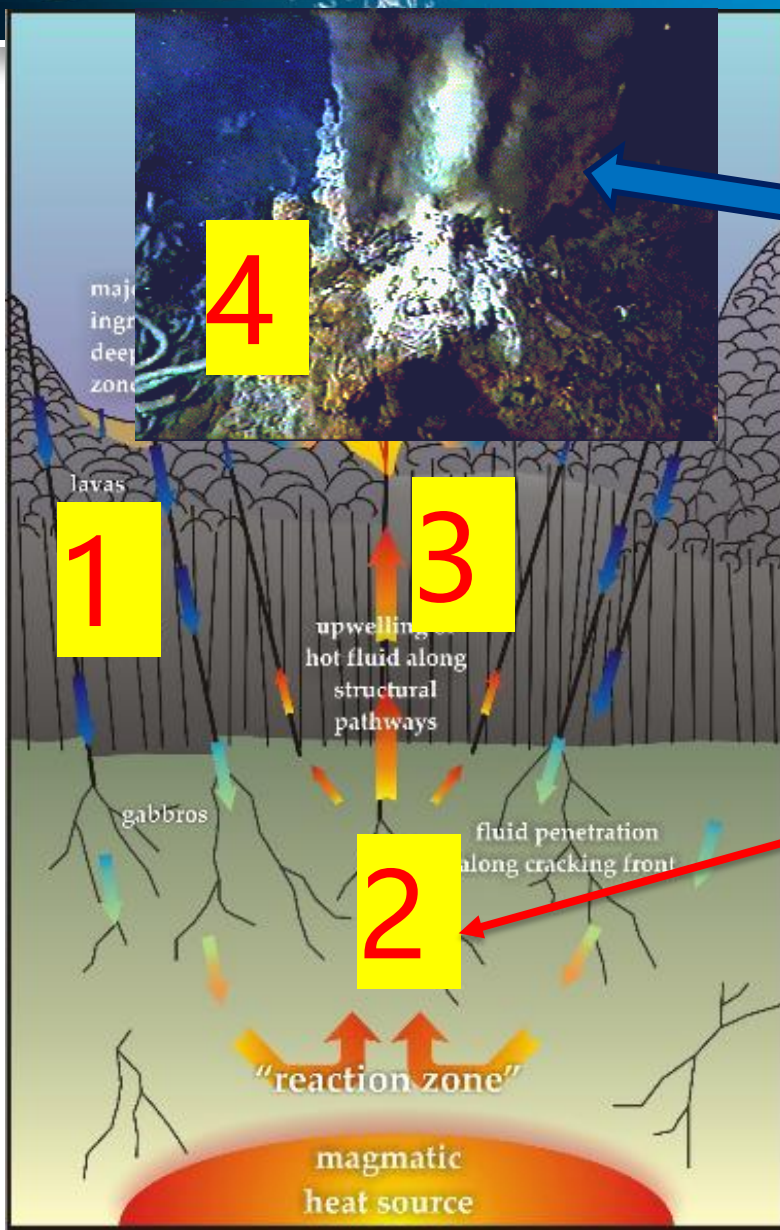
Hydrothermal convection  
 $T > 400\text{--}800^\circ\text{C}$   
Low pH



| 序号 | 名称                        | 过程                                 | 结果                                               |
|----|---------------------------|------------------------------------|--------------------------------------------------|
| 1  | 补给区<br>recharge zone      | 海水沿着裂缝下渗，被岩浆热源逐渐加热                 | 海水中的Mg和SO <sub>4</sub> 被大量消耗                     |
| 2  | 反应区<br>reaction zone      | 被加热的海水与周边基岩发生水岩反应                  | 痕量元素被大量淋滤，海水中的Mg被完全消耗，形成高温、高金属元素含量、Mg=0、低pH的热液流体 |
| 3  | 排放区<br>discharge zone     | 热液流体沿着主要通道上涌                       | 海水混合、进一步的水岩反应，部分元素沉淀                             |
| 4  | 海底喷发<br>submarine venting | 高温低pH高金属元素含量的热液流体喷出海底，与低温高pH值的海水混合 | 金属元素快速沉淀，形成黑烟卤和热液硫化物                             |



# 海底热液端元



观察到的热液流体

海水混合?  
硬石膏溶解?  
进一步的水岩反应?  
硫化物沉淀?

热液端元流体



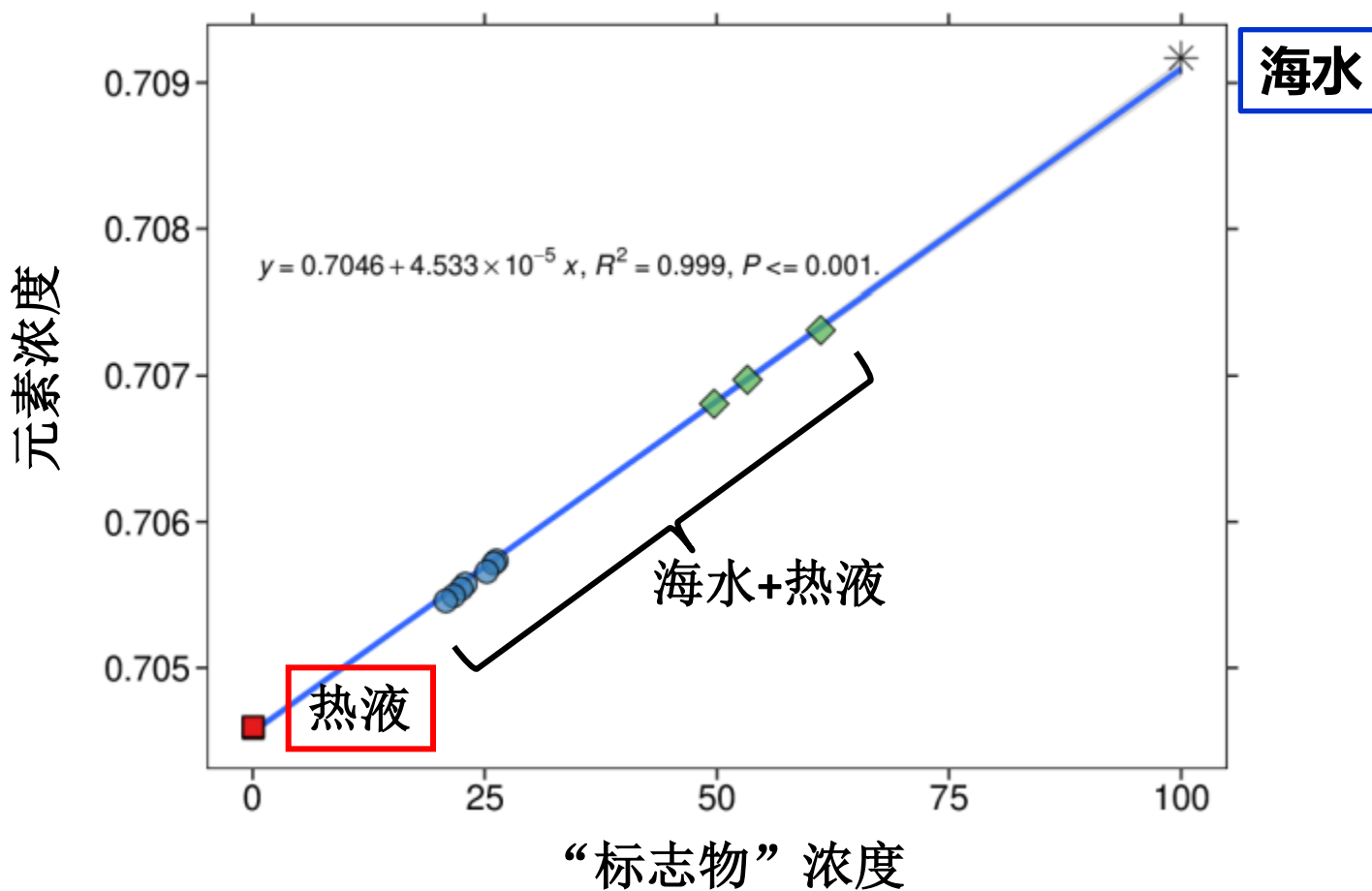
## ■ 计算热液端元浓度的重要性

- 掌握热液反应区的温压条件
- 理解热液循环过程中的元素来源和迁移
- 分析热液反应区进行的水岩反应类型和程度
- 指示热液在上涌阶段发生的地球化学过程
- 指示相分离及其程度

**如何计算热液端元浓度？  
有什么“标志物”？**



## ■ 采用线性拟合计算热液端元浓度





## ■ “标志物” 的要求

- 在海水中的浓度稳定（主要元素Na、Ca、K、Mg、Cl）
- 在热液系统中的含量稳定（0, 1, 100, ...）
- 与海水中的含量有明显差异
- 只受控于与海水的混合作用，热液上涌过程中（排放区）不受其他因素（微生物作用、矿物沉淀与溶解等）的影响（保守元素，**conservative**）



|    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Ce | Pr | Nd | Pm | Sm | Eu | Gd | Tb | Dy | Ho | Er | Tm | Yb | Lu |
| Th | Pa | U  | Np | Pu | Am | Cm | Bk | Cf | Es | Fm | Md | No | Lr |

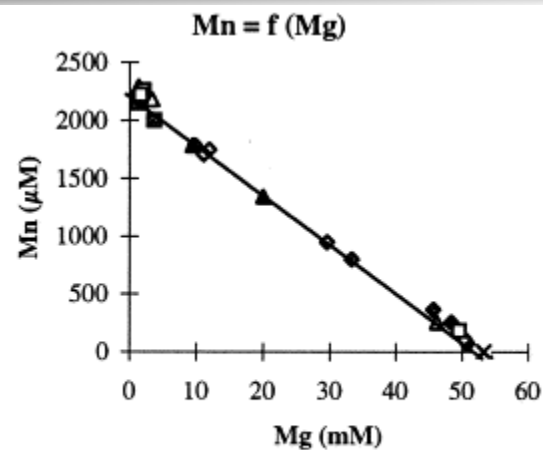
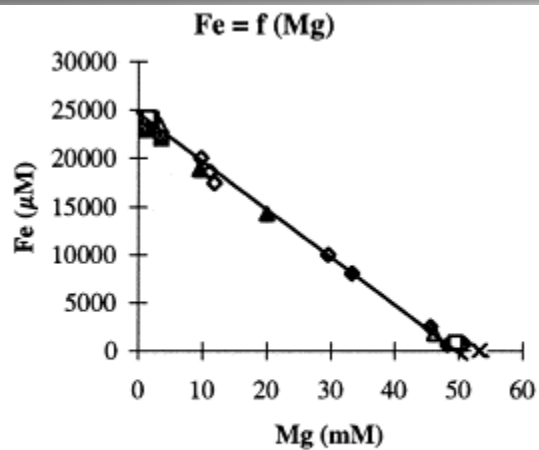
Page 9



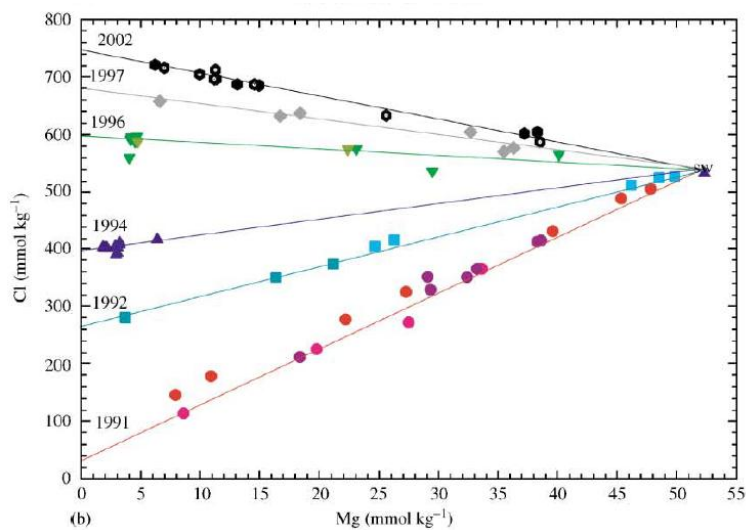
- **Na**: 淋滤作用富集, 钠长石化亏损;
- **K**: 淋滤作用富集, 钾长石化亏损;
- **Cl**: 受控于相分离程度, 可能富集或亏损;
- **SiO<sub>2</sub>**: 富集。与反应区稳压条件达到平衡。上涌喷出过程中, 稳压条件的变化导致SiO<sub>2</sub>沉淀为石英。
- **Ca**: 富集, 上涌喷出过程中可能形成硬石膏沉淀/硬石膏溶解
- **Fe, Mn及其他痕量金属元素**: 通过淋滤作用富集, 喷出海底时形成金属硫化物沉淀
- **Mg**: 完全亏损为0。用于计算热液端元流体的化学组成

保守元素

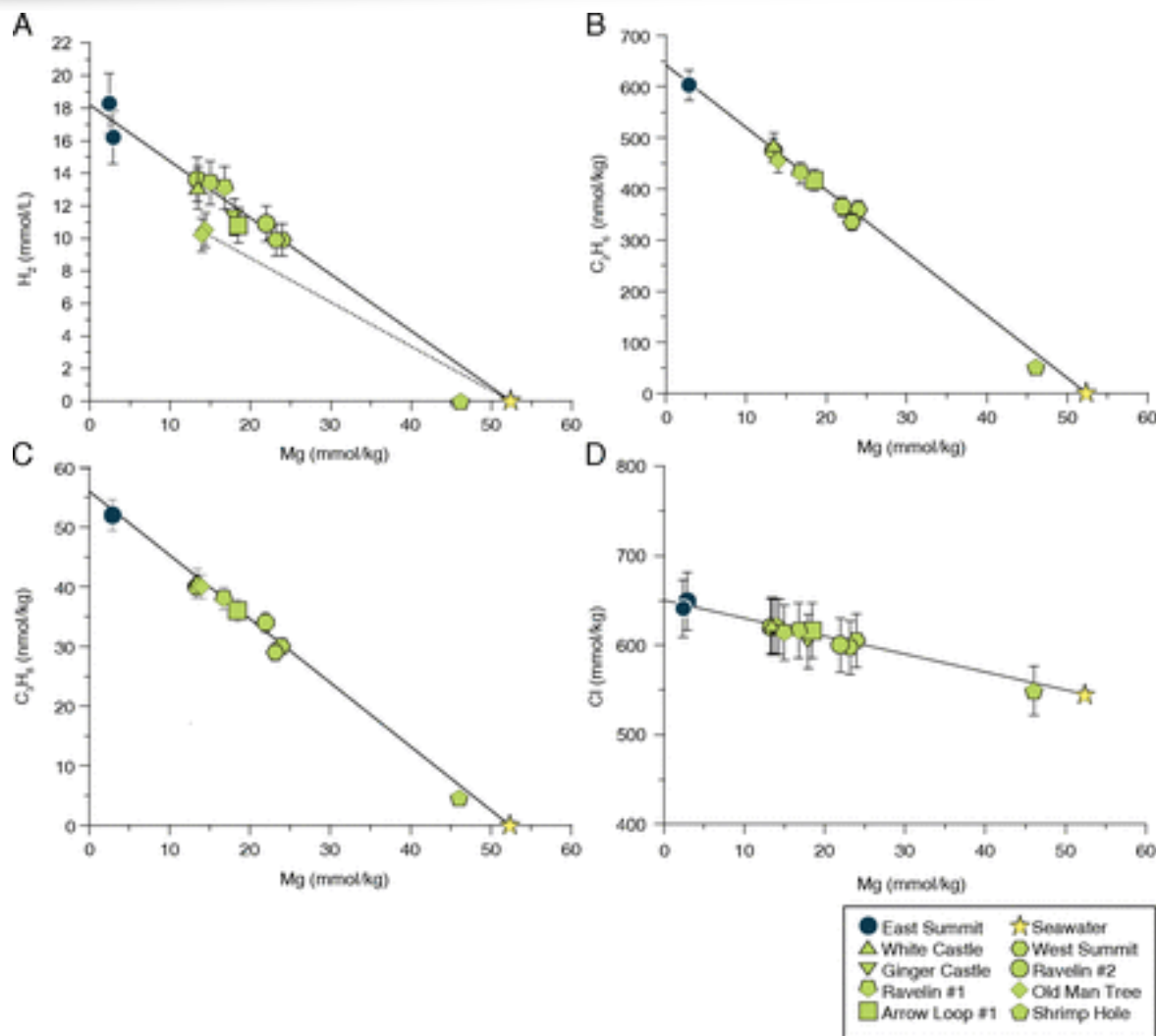
“保  
元  
非  
守”  
素



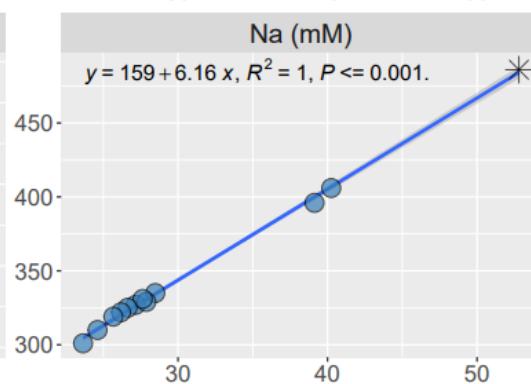
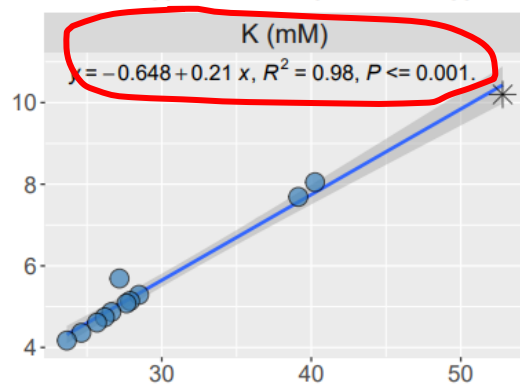
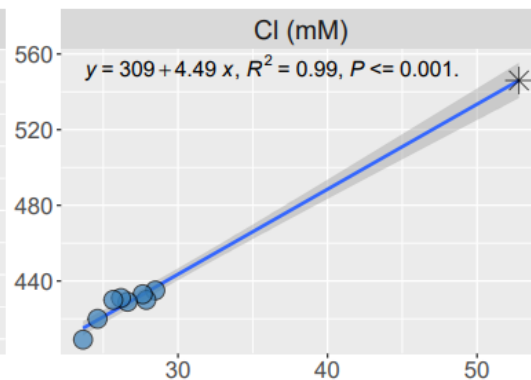
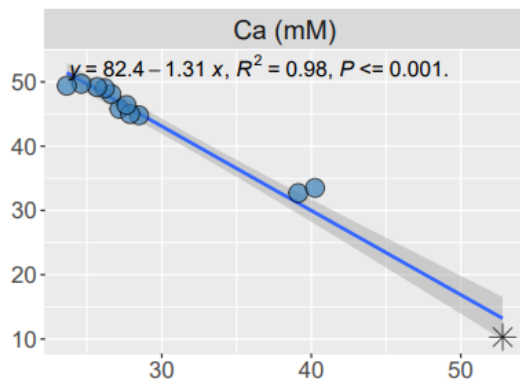
**Rainbow :** ◆ Flores 2 ◇ Flores 3 ▲ Flores 4 △ Flores 5 ■ Flores 7 □ Flores 9 × Seawater



**相分离**



热液端元中的高气体 ( $H_2$ 、 $CH_4$ 等)  
指示这些气体来自  
热液反应区, 可能  
为**非生物成因**



端元浓度**小于0**

➤ 测量/采样/计算**误差**

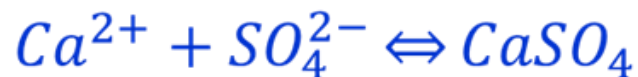
➤ Mg在热液循环中**未被完全去除**



# 思考1

■ 热液端元的中 $SO_4$ 含量也一般为0，能否采用 $SO_4$ 计算热液端元浓度？

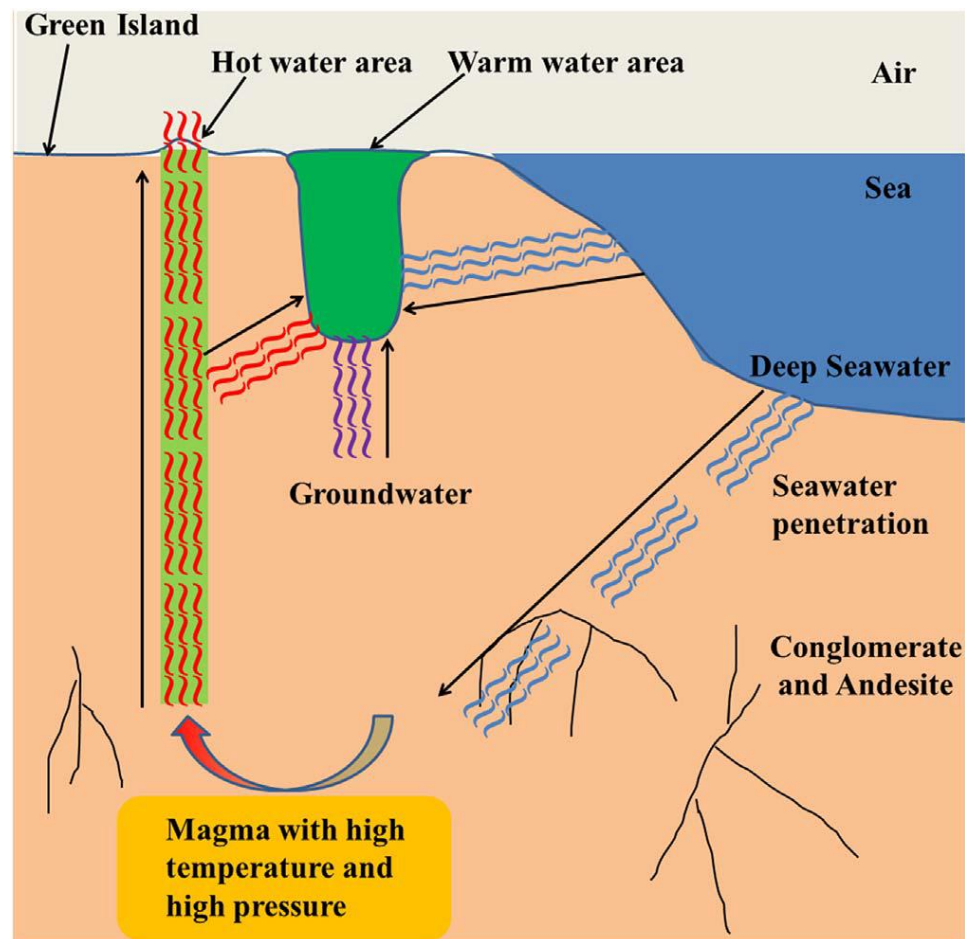
不行！ $SO_4$ 含量不仅受到与海水混合的影响，还受到硬石膏的溶解与沉淀的影响，在排放区并不保守（conservative）





## 思考2

若热液端元流体不仅经历了海水混合，还经历了淡水的混合，如何计算端元流体浓度？





**海水**含有大量Na、Cl、Ca、Mg等离子

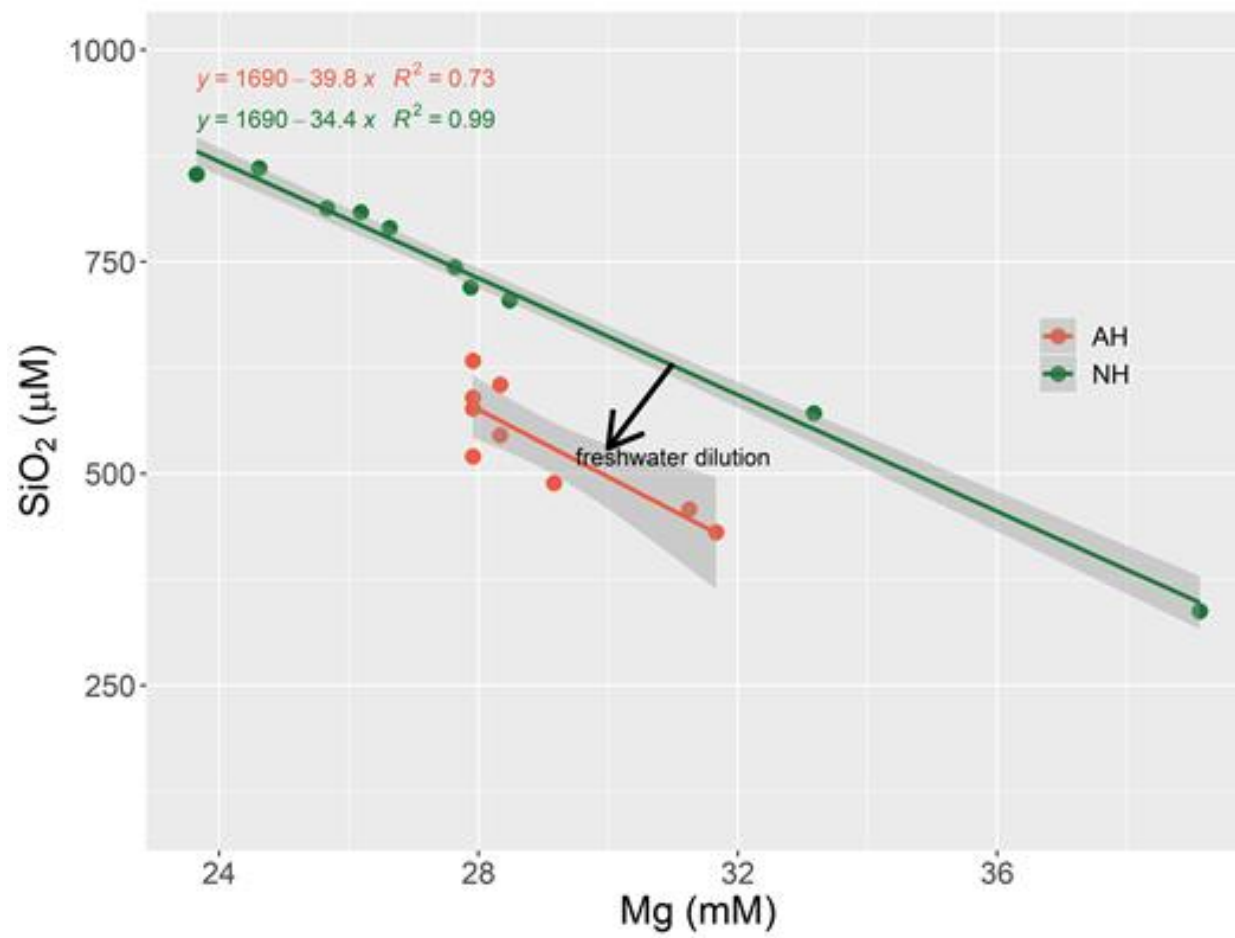
**热液+海水：**

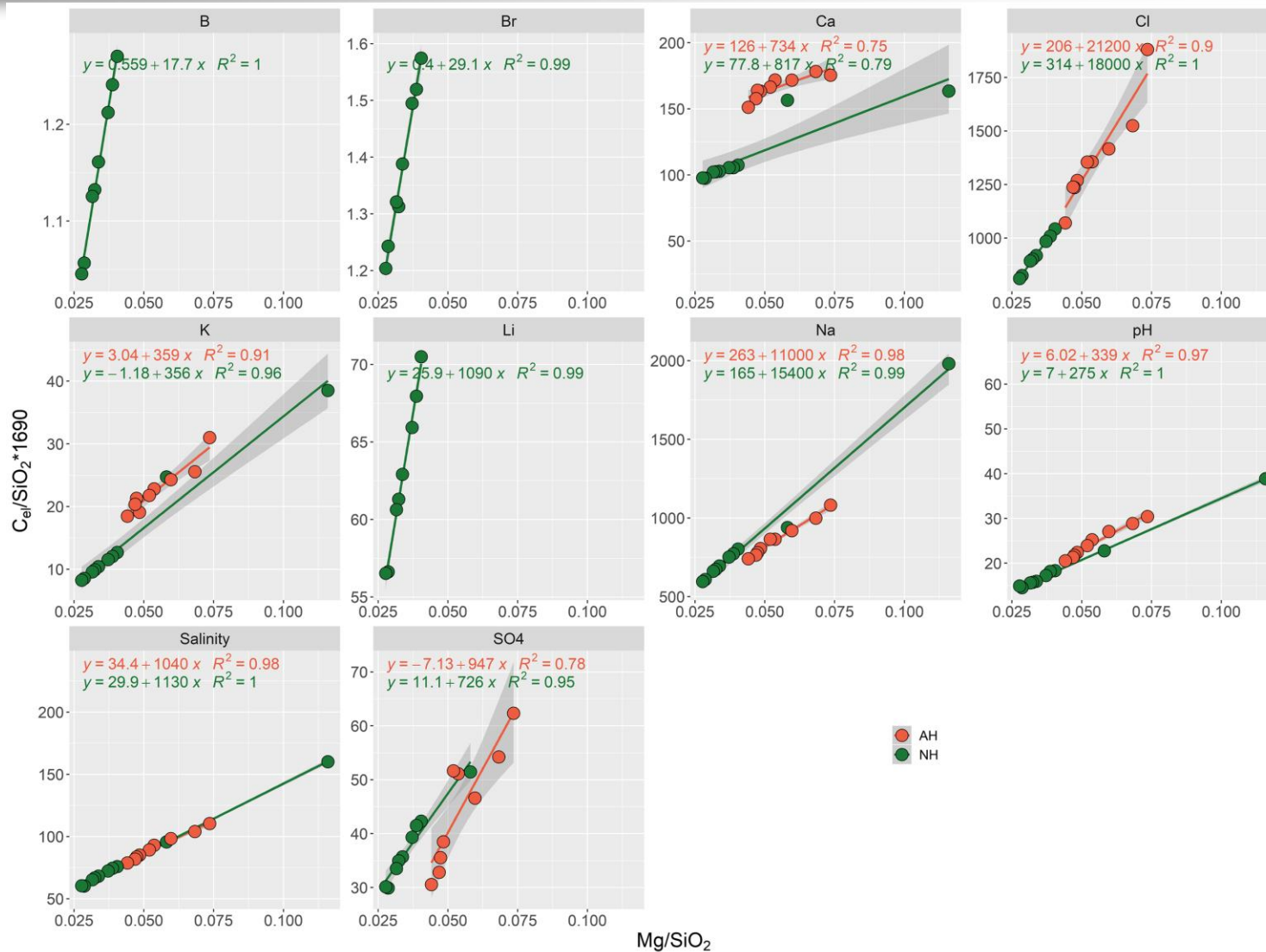
**同时改变**热液端元流体的浓度和元素比值

**淡水**中的离子浓度较低或为0

**热液+淡水：**

只改变热液端元的离子浓度，**不改变元素比值**







## ■ 课后思考题：

控制热液地球化学组成特征的因素有哪些？为什么？

