

环境地学数据融合平台

ENVIFUSION

线上直播课

2021年8月

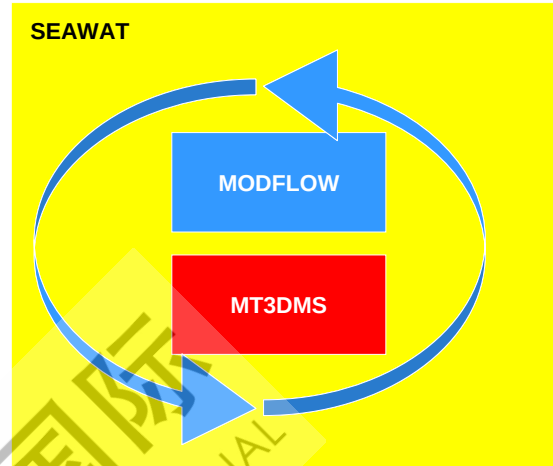


北水国际
BEIJING WATER INTERNATIONAL

使用EnviFusion进行
SEAWAT变密度流模拟

什么是SEAWAT?

- SEAWAT是一个通用的基于MODFLOW/MT3DMS的计算机程序，用于模拟三维变密度饱和地下水流动以及多组分溶质和热量传输。
- 最新版本4.0，源代码可在美国地质调查局（USGS）网站上免费获得。



SEAWAT的主要应用领域

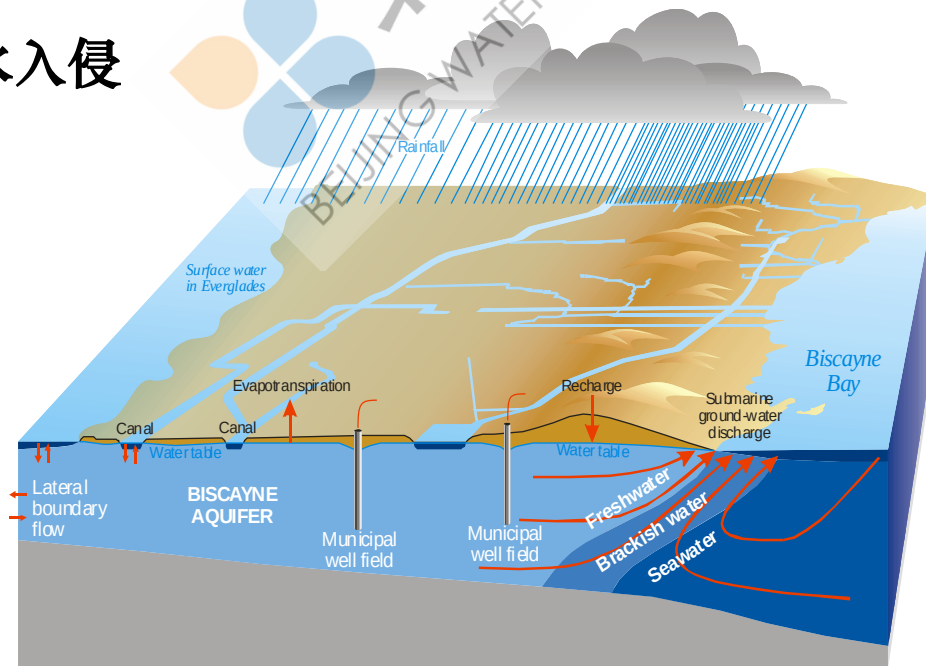
- 海岸带含水层海水入侵
 - 淡水/盐水界面向陆地移动
- 陆地含水层盐水迁移
 - 抽水井下方盐水区域的上升
 - 盐水从较深的含盐含水层向上渗漏
 - 古卤水带
- 地热应用

海水入侵

- 由于人为超量开采地下水，引起地下水位大幅度下降，海水与淡水之间的水动力平衡被破坏，导致咸淡水界面向陆地方向移动的现象称为**海水入侵**。
- 原因
 - 人为超量开采（水动力条件）
 - 海水与淡水的“通道”（水文地质条件）

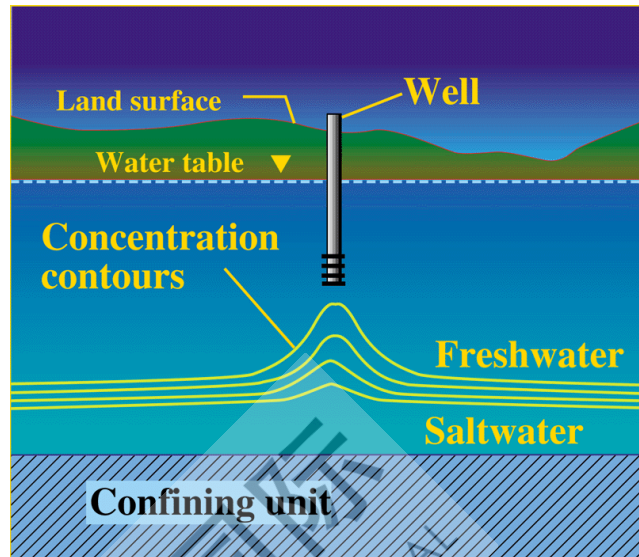


海水入侵



升锥 (Upconing)

抽水导致的下方盐水区域的上升



(Figure modified from Reilly, T.E., 1993, Analysis of ground-water systems in freshwater-saltwater environments, in Alley, W.M., ed., Regional ground-water quality: New York, Van Nostrand Reinhold, 634 p.)

盐水渗漏

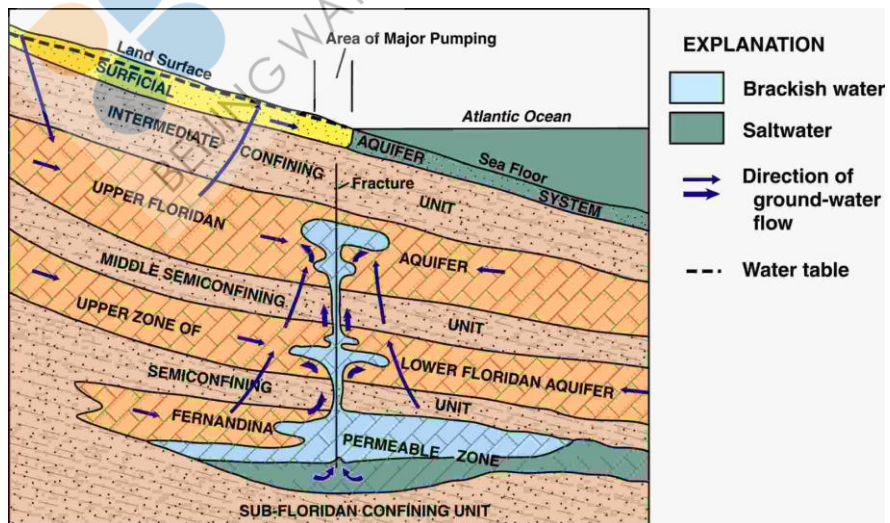
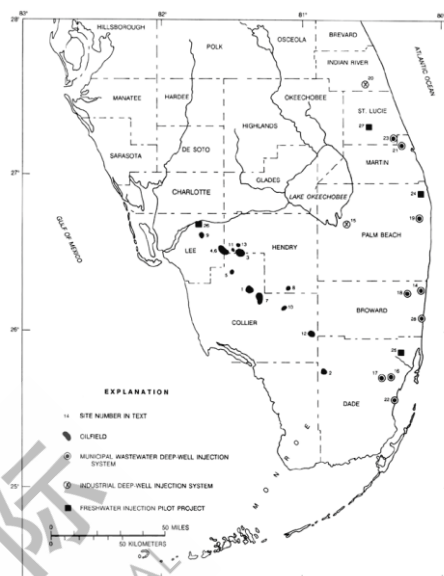
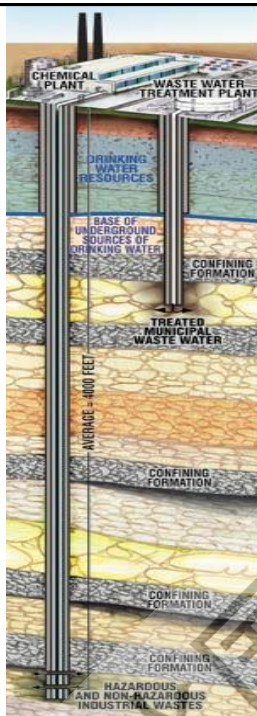


Figure modified from Spechler, R.M., 1994, Saltwater intrusion and quality of water in the Floridan Aquifer system, northeastern Florida: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 92-4174, 76 p

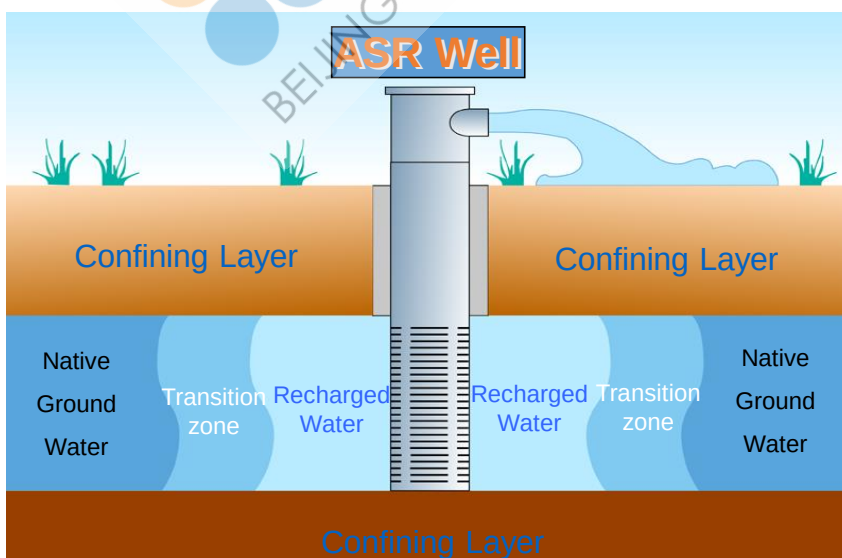
深井注射

危险工业废水的
深井注射。

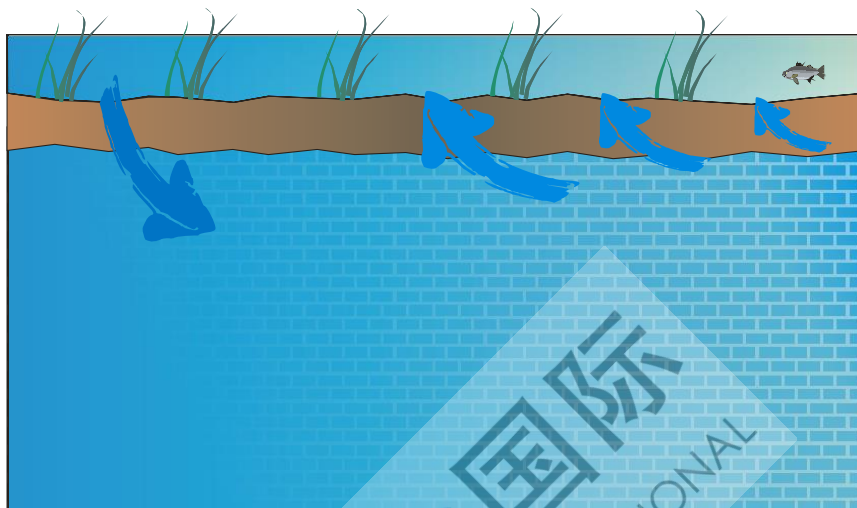


(Meyer, 1989)

水资源存储与利用



滨海湿地水循环



卤水迁移



地热应用



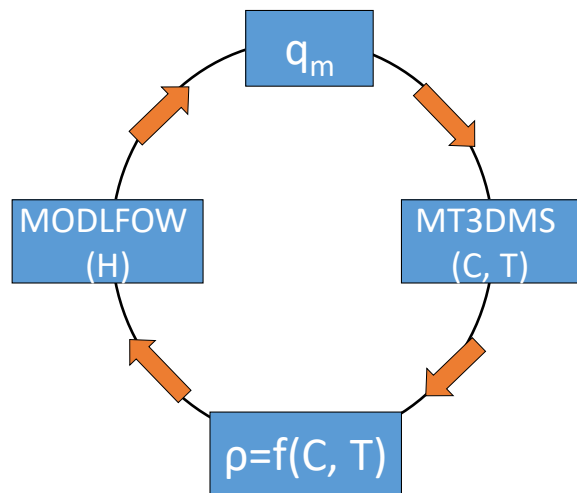
老实泉，美国黄石国家公园



地热电厂，冰岛

SEAWAT模型

- 将MODFLOW和MT3DMS 耦合运行
- 使用MODFLOW计算流量
- 利用MT3DMS进行溶质运移和热运移模拟
- 将流体密度作为浓度和温度的函数进行计算
- 修改MODFLOW控制方程求解变密度地下水流动方程



Darcy定律

压力和渗透率

$$q_x = -\frac{k_x}{\mu} \frac{\partial P}{\partial x}$$

$$q_z = -\frac{k_z}{\mu} \left(\frac{\partial P}{\partial z} + \rho g \right)$$

$$P = \rho_f g (h_f - z)$$

$$K_f = \frac{k \rho_f g}{\mu_f}$$

等效淡水水头和渗透系数

$$q_x = -K_f \frac{\mu_f}{\mu} \frac{\partial h_f}{\partial x}$$

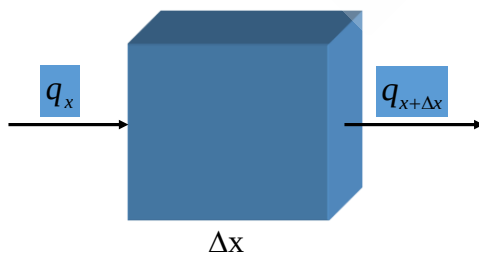
$$q_z = -K_{fz} \frac{\mu_f}{\mu} \left(\frac{\partial h_f}{\partial z} + \frac{\rho - \rho_f}{\rho_f} \right)$$

假设

$$\frac{\mu_f}{\mu} = 1$$

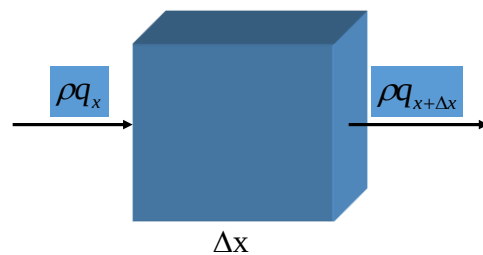
控制方程

恒密度



$$-\nabla \cdot \bar{q} + q_s = \frac{\partial \theta}{\partial t}$$

变密度



$$-\nabla \cdot (\rho \bar{q}) + \rho_s q_s = \frac{\partial (\rho \theta)}{\partial t}$$

变密度流控制方程

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[\rho K_{fx} \left(\frac{\partial h_f}{\partial x} + \frac{\rho - \rho_f}{\rho_f} \frac{\partial z}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\rho K_{fy} \left(\frac{\partial h_f}{\partial y} + \frac{\rho - \rho_f}{\rho_f} \frac{\partial z}{\partial y} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\rho K_{fz} \left(\frac{\partial h_f}{\partial z} + \frac{\rho - \rho_f}{\rho_f} \right) \right] = \rho S_f \frac{\partial h_f}{\partial t} + \theta \frac{\partial \rho}{\partial C} \frac{\partial C}{\partial t} - \rho_s q_s$$

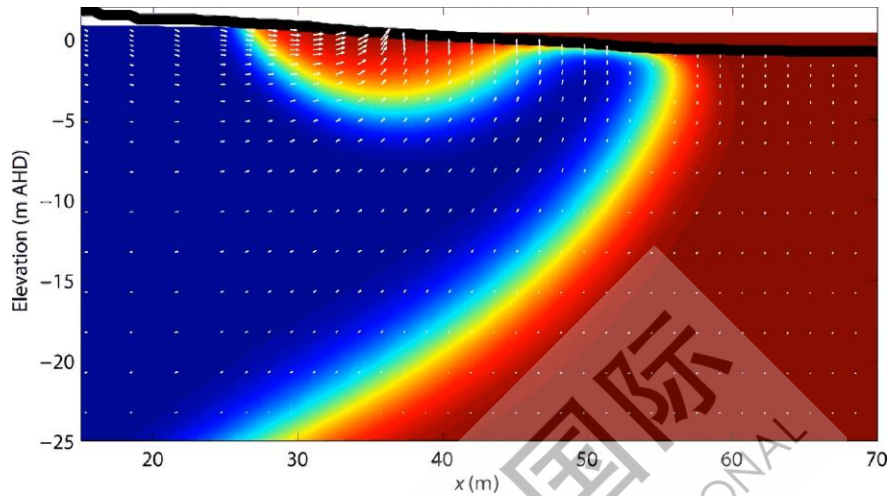
或

$$\nabla \cdot \rho K_f \left(\nabla h_f + \frac{(\rho - \rho_f)}{\rho_f} \nabla z \right) = \rho S_f \frac{\partial h_f}{\partial t} + n \frac{\partial \rho}{\partial C} \frac{\partial C}{\partial t} - \rho_s q_s$$

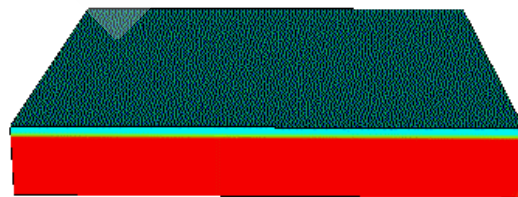
盐湖咸水与含水层淡水的相互作用



潮汐对海岸带含水层中咸水-淡水界面的影响



SEAWAT示例



Time = 0.22 (1-1-2)

SEAWAT实例—温淡水对冷海水的驱离过程

工具：EnviFusion

MODFLOW水流模型：

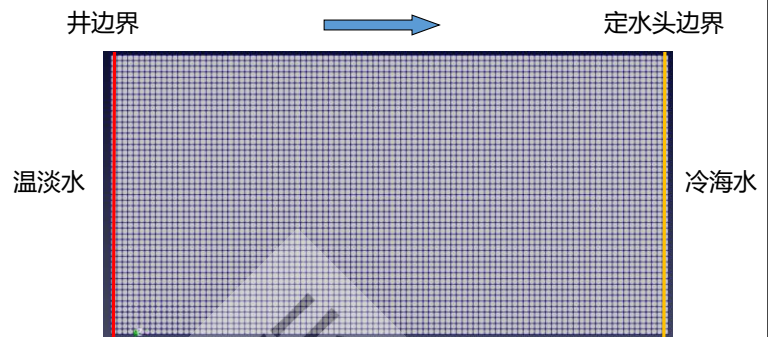
网格：100*1*50

应力期：20000天

水流方向：由西向东

井边界：淡水注入

定水头边界：淡水排泄边界



SEAWAT实例—温淡水对冷海水的驱离过程

MT3DMS：多组分溶质运移模型，基于MODFLOW水头结果进行计算

➤ 初始浓度

➤ 浓度边界条件

定浓度边界；

源汇浓度边界；

入渗补给浓度边界（面源输入的浓度）；

蒸散发耗散浓度边界（蒸发带走的浓度，也可 ≈ 0 ）；

SEAWAT实例—温淡水对冷海水的驱离过程

MT3DMS模型：

组分：盐浓度、温度

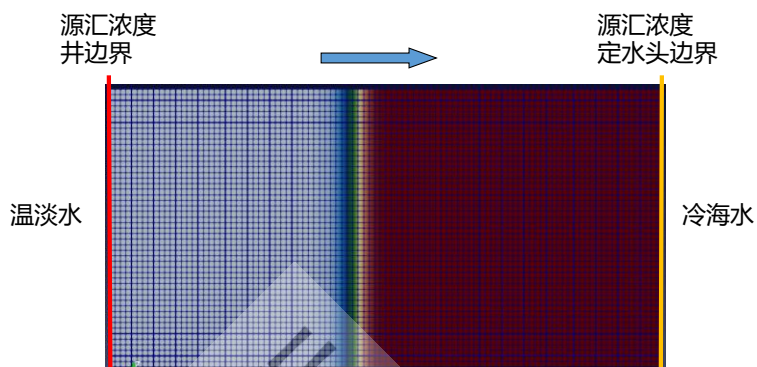
初始条件：35kg/ft³、5°C

源汇浓度井边界：淡水注入

0kg/ft³、25°C

源汇浓度定水头边界：冷海水边界

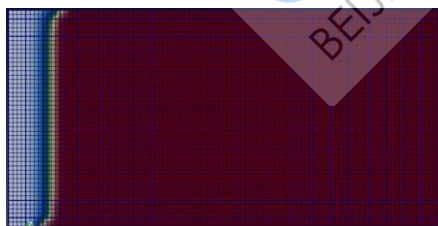
35kg/ft³、5°C



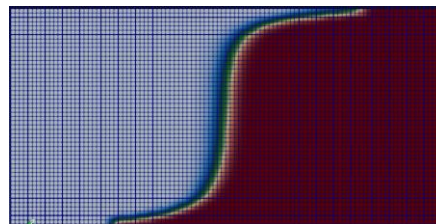
SEAWAT实例—温淡水对冷海水的驱离过程

SEAWAT模型——盐度：

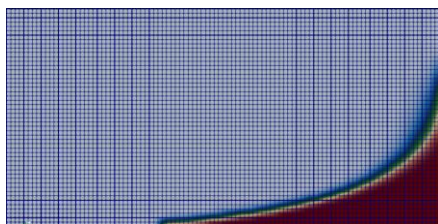
1000d



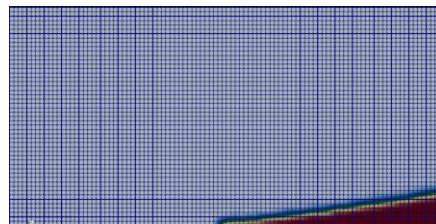
5000d



10000d



20000d



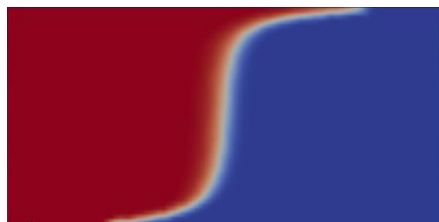
SEAWAT实例—温淡水对冷海水的驱离过程

SEAWAT模型——温度：

1000d



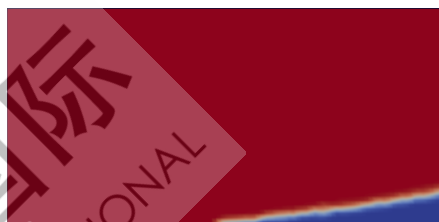
5000d



10000d



20000d



北水国际
BEIJING WATER INTERNATIONAL