

FVCOM 泥沙模拟技术手册（初本）

华东师范大学河口海岸学国家重点实验室

一、模型介绍

FVCOM-SED 模型可以进行水动力-波浪-泥沙-地貌的耦合计算。模型考虑多海底条件、无限泥沙组分，包含了悬沙输运和底沙输运等过程，可以用于模拟大陆架、河口海岸等海域的泥沙输运，也能应用于河流的模拟中。FVCOM4.0 版的泥沙模块，除了保留原有的泥沙模型之外，还加入了 Community Sediment Transport Model (CSTM) 泥沙输运模型。其主要考虑的泥沙动力过程如下：

1. 底床沙纹以及活动泥沙层对粗糙度和底部拖曳系数的影响。
2. 非线性波浪过程（如波浪不对称性）对泥沙输运的影响
3. 波流相互作用对泥沙输运的影响
4. 泥沙对水动力的影响（如考虑浮泥、悬沙含量对水体密度的影响等）
5. 精细的底床过程（多层底床、固结、底质粗化等）
6. 近岸海域特有的水动力过程（如波浪破碎）
7. 泥沙-水质的耦合
8. 粘性泥沙动力过程（如絮凝沉降、海底固结等）

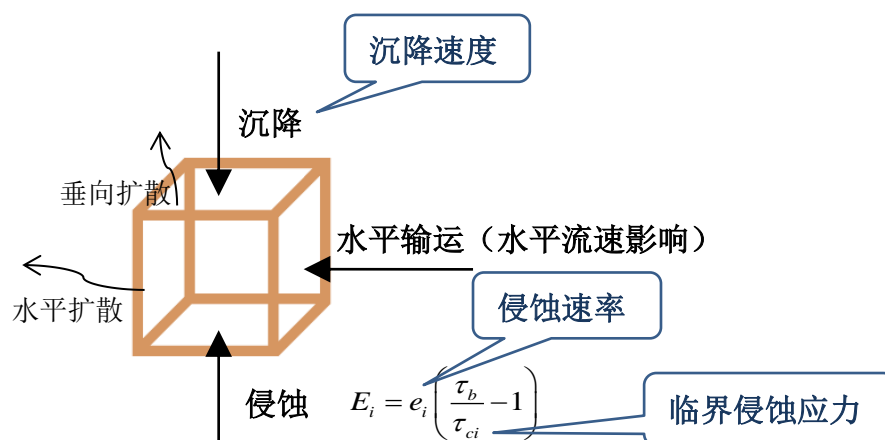


图 1 悬沙输运中的主要过程，及其重要参数

悬沙输运模型中，有三个重要过程：沉降、侵蚀和水平运输。其中沉降速度



是影响泥沙沉降过程的重要参数；对于侵蚀过程，侵蚀速率和临界启动应力是两个重要参数；而水平输运则主要受到水动力的模拟效果的影响。

二、FVCOM 进行泥沙模拟的主要过程（offline）

1. make.inc 文件

make.inc 文件是 FVCOM 控制各种模块的开关文件。去掉 FLAG 之前的#号表示打开这项功能，不去掉则默认关闭这一项功能。对于泥沙模型，其控制 FLAG 如图 2 所示。

```
FLAG_21 = -DSEDIMENT
# FLAG_211 = -DORIG_SED
# FLAG_211 = -DCSTMS_SED
# FLAG_22 = -DOFFLINE_SEDIMENT
# FLAG_43 = -DFLUID_MUD
#
```

图 2 make.inc 文件中关于 FVCOM 泥沙模型的控制 FLAG

需要使用 FVOM 进行泥沙模拟时，FLAG_21 必须打开。其后两项表示 FVCOM 中的两个泥沙模块，开且只开一个。ORIG_SED 是在 FVCOM3.1 版本中由 Geoffrey Cowles 开发的泥沙模型，适合于使用一组泥沙，采用空间分布的参数进行泥沙模拟。而 CSTMS_SED 是由美国地质调查局（USGS）基于 ROMS 开发的泥沙模型，功能较为全面，是 FVCOM4.0 版本的主要更新之一。CSTMS 模型较为全面，不仅可以方便的进行多组泥沙模拟，而且对絮凝沉降等复杂的泥沙过程也有较为先进的描述。

泥沙模型还有很多过程是根据经验和实验得到的，里面很多参数需要调整。在调整参数时，建议使用 offline_sediment。所谓 offline，就是先用模型算好水动力，然后使用水动力结果驱动泥沙模型模拟泥沙的运动过程。虽然这样做无法考虑泥沙运动对水动力的影响，但是 offline 在模拟泥沙的时候，不用计算水动力，可以节约 80%的时间。而且，offline 计算泥沙的时候，其时间步长也可以取的比水动力的时间步长更大一些，这又能节约不少时间。待各种参数都已经比较可靠时，如果需要考虑泥沙对水动力的影响，这才关掉 FLAG_22。FLAG_43 是浮泥



模块，建议，若不是一定要开浮泥，最好不要开。

在近岸水域，波浪对于水体底层的切应力有重要影响。因此，在模拟近岸泥沙过程时，最好加入波流相互作用过程（图 3）。首先必须打开 FLAG_32。FLAG_33 是控制周期性侧向边界的，一般对于实际情况的模拟中不会用到。FLAG_34 表示使用显式计算波流相互作用，用时较短，在计算泥沙时，往往采用这种方法。FLAG_35 一般不开。波浪也可以像水动力一样采用 offline 的形式，先计算好，然后用以驱动泥沙运动。

```
#-----  
# WAVE-CURRENT INTERACTION  
#-----  
# FLAG_32 = -DWAVE_CURRENT_INTERACTION  
# FLAG_33 = -DPLBC  
# NOTE! This option is for wave code  
# FLAG_34 = -DEXPLICIT  
# WAVE ONLY  
# FLAG_35 = -DWAVE_ONLY  
# Svendsen Roller contribution  
# FLAG_36 = -DWAVE_ROLLER  
# FLAG_37 = -DWAVE_OFFLINE  
# include ${PETSC_DIR}/bmake/common/variables
```

图 3 make.inc 文件中关于波流相互作用过程的控制 FLAG

2. run.nml 文件

改好 make.inc，编译好后执行 ./fvcom -create_namelist=test，得到进行泥沙模拟所需要的 run.nml（此处生成为 test_run.nml，用户需根据自己的模型名称进行修改），用以控制 FVCOM 的运行。泥沙模拟的 run.nml 与一般水动力的 run.nml 主要有两个地方不同：一是在 NML_ADDITIONAL_MODELS 中多了几个对泥沙模型的控制选项（图 4）；二是在 NML_SURFACE_FORCING 中多了波浪的控制选项（图 5）。

```
&NML_ADDITIONAL_MODELS  
DATA_ASSIMILATION = F,  
BIOLOGICAL_MODEL = F,  
STARTUP_BIO_TYPE = 'observed',  
SEDIMENT_MODEL = T,  
SEDIMENT_MODEL_FILE = 'fvcom_sediment_inlet_test.inp',  
OFFLINE_SEDIMENT_FILE = 'inlet_offline_forcing.nc',  
SEDIMENT_PARAMETER_TYPE = 'uniform',  
SEDIMENT_PARAMETER_FILE = 'auxiliary_data.nc',  
BEDFLAG_TYPE = 'constant',  
ICE_MODEL = F,  
ICING_MODEL = F  
/
```

图 4 run.nml 中关于泥沙模型的控制选项



```
WAVE_ON = T,  
WAVE_FILE = 'inlet_offline_forcing.nc',  
WAVE_KIND = 'variable',  
WAVE_HEIGHT = 0.00000,  
WAVE_LENGTH = 0.00000,  
WAVE_DIRECTION = 0.00000,  
WAVE_PERIOD = 0.00000,  
WAVE_PER_BOT = 0.00000,  
WAVE_UB_BOT = 0.00000
```

图 5 run.nml 中关于波浪的控制选项

在图 4 中 SEDIMENT_MODEL=T 表示进行泥沙的运算。注意这与图 2 中的 FLAG_21 并不冲突。将 FVCOM 类比于汽车，make.inc 就相当于在组装一辆汽车时选取的各项功能，有高配低配之分；泥沙模块我们也可以类比于倒车雷达，make.inc 中开了 Sediment 就表示车辆组装的时候加入了倒车雷达；但是实际使用中我们并不是倒车的时候就一定要用倒车雷达，而这是用 run.nml 来选择的。

Sediment_model_file 中保存了控制泥沙模型运行的各种参数。Offline_sediment_file 是用来驱动泥沙进行 offline 计算的水动力文件。这两个文件在后面会仔细讲解。

Sediment_parameter_type 主要用于指定三大泥沙参数：沉降速度、临界侵蚀应力和侵蚀速率。有两种：uniform 和其他。在 CSTM 泥沙模型中，uniform 表示参数空间均匀，为一个常数；若是其他，则只表示临界启动应力为空间分布的。而在 ORIG 泥沙模型中，已经默认沉降速度的空间差异性（由公式计算得到），非 uniform 表示其余两个泥沙参数也是空间分布的。当 Sediment_parameter_type 不是 uniform 的时候，就需要提供 Sediment parameter file 用以提供空间分布的泥沙参数了。

Bedflag_type: constant 正常的侵蚀沉降过程。

非 constant: 需要有 bedflag_file 文件。Bedflag=0 底床没有沉降再悬浮，=1 则有沉降再悬浮过程。

泥沙模拟时，最好加入波流相互作用过程，打开 WAVE_ON，若波浪也采用 offline 的形式，则波浪文件由 wave_file 指定，wave-kind 为 variable；若不采用 variable 指定，还有 constant, periodic 两种波浪给定形式。Constant 时，图 5 中的 wave_height 等参数则需要详细给定。其余则请参照 FVCOM 波浪的技术手册。



3. 输入文件

FVCOM 进行 offline 的泥沙模拟时，除了需要所有参与水动力的输入文件外，还需要三个文件：模型计算期间的水动力数据文件、波浪数据文件和泥沙参数文件。

水动力文件一般使用 FVCOM 的输出结果。需要注意的是，水动力文件中，必须有三维的流速场、温盐和 Turbulence 的输出；否则无法驱动泥沙模型。

波浪文件目前必须采用 FVCOM 网格，需要有 hs, wlen, dirm(wdir), tpeak, pwave_bot(tmbot), ub_bot (ubot)等参数。

下面重点介绍泥沙的参数文件：sediment.inp

Sediment.inp 文件中主要指定粘性沙、非粘性沙的设置及其参数，底床性质，絮凝模型设置及其参数，植被影响的设置及其参数，以及地貌模型的设置等。

注 1：等号两边必须有空格

主要设置泥沙模型中某些功能是否使用	
NCS = 4	4 组粘性泥沙
NNS = 0	0 组非粘性泥沙
Bedload = F	不进行底沙输运的模拟
Susload = T	进行悬沙输运的模拟
Cohesive_bed = T	设置底床性质，至多一个 T；不同性质的底床，其侵蚀、固结等过程都不一样 (注：当为粘性底时，不能加非粘性沙)
Mixed_bed = F	
Noncohesive_bed2 = F	
sed_morph = F	底床性质是否更新
sed_flocs = F	不模拟絮凝过程
sed_biomass = F	不模拟植被对泥沙的影响（主要和沉降有关）
sed_biodiff = F	植被对底床混合过程的影响
sed_defloc = F	絮凝体在底床的分解，只有在 sedflocs = T 时才起效
vert_hindered = F	阻滞沉降；当泥沙含量过高时，沉降速度反而会下降
sed_oned = F	一维泥沙模型



sed_nudge = F	开边界不加入泥沙
sed_alpha = 0.5	当 sed_nudge = T 时才有用
sed_ramp = 360	
sed_start = 0	第 0 步开始计算泥沙
N_report = 60	每 60 次出一次泥沙的报告
sed_prsource = T	点源泥沙（主要是河流泥沙输入）
sed_hot_start = F	热启动
植被对泥沙的影响	
seagrass_bottom = T	只有当 sed_biomass = T 时才有用
seagrass_sink = T	
底沙输运模型设置	
bedload_mpm = T	底沙模型的两种计算方法，只开一个
bedload_soulsby = F	
slope_nemeth = F	只开一个，斜坡的处理
slope_lesser = T	
bedload_coeff = 0.15	底质输运率
地貌模型设置	
morpho_model = T	是否模拟地貌过程
morpho_factor = 1.0	地貌加速因子，即使不开地貌也会使用
morpho_incr = 1	第 0 步开始每 1 步都更新水深 只有 morpho_model = T 时才有用。
morpho_strt = 0	
输出设置	
sed_dumpbed = T	输出底床参数（厚度、年龄、孔隙率、临界启动应力等）
sed_dumpbot = T	输出床面参数，表层底床上更为详细的参数
悬沙设置	
min_srho = 1050.	最小泥沙密度（一般就是 1050.）
init_mud_concentration = 0.0 0.0 0.0	初始泥沙浓度；一般都是 0.0
sed_tau_cd_const = F	泥沙临界沉降应力；开且只开一个



sed_tau_cd_lin = F	
linear_continuation = T	沉降计算方案中所采取的两个插值方法
Neumann = F	
db_profile = T	植被对泥沙扩散的影响是随深度变化的
底床设置及其初始条件	
nbed = 4	4 层底床
inf_bed = F	是否有无限量的泥沙供应
init_bed_thickness	初始底床厚度（多个底床，以空格分开）
init_bed_age	初始底床年龄
init_bed_porosity	初始孔隙率
init_bed_biodiff	必须大于 0；sed_biodiff = T 时才有用
init_bed_tau_crit	临界启动应力
init_bed_fraction	组分((i=1:NNS+NCS),j=1,nbed)
床面条件设置	
newlayer_thick = 0.01	沉降量超过 0.01m 时，新加一层
transc = 0.03	mixed_bed = T 时使用，用以定量混合底中粘性行为的含量
transn = 0.2	
dbmax = 1.0E-10	SED_BIODIFF = T 时使用 用以限定 biodiffusivity
dbmin = 1.0E-12	
dbzs = 0.002	
dbzm = 0.08	
dbzp = 0.01	
悬浮粘性泥沙参数	
mud_name	名称（i=1，NCS）
mud_sd50	中值粒径
mud_csed	初始的浓度
mud_srho	密度（一般取 2650.0）
mud_wsed	颗粒沉降速度
mud_erate	侵蚀系数



mud_tau_ce	临界侵蚀应力
mud_tau_cd	临界沉降应力
mud_poros	孔隙率； $V_{\text{水}}/(V_{\text{水}}+V_{\text{沙}})$
悬浮非粘性泥沙参数	
sand_name	名称（i=1，NNS）
sand_sd50	中值粒径
sand_csed	初始的浓度
sand_srho	密度（一般取 2650.0）
sand_wsed	颗粒沉降速度
sand_erate	侵蚀系数
sand_tau_ce	临界侵蚀应力
sand_tau_cd	临界沉降应力
sand_poros	孔隙率； $V_{\text{水}}/(V_{\text{水}}+V_{\text{沙}})$
粘性或混合底床参数	
mud_taucr_min	$\tau_{cr} = e^{\frac{\log(bmz)-\text{tcroff}}{\text{terslp}}}$
mud_taucr_max	
mud_taucr_slope	
mud_taucr_off	
mud_taucr_time	越大，固结速度越慢
絮凝参数	
请参考 Verney, R, R Lafite, J Claude Brun-Cottan, P Le Hir. Behaviour of a floc population during a tidal cycle: Laboratory experiments and numerical modelling[J]. Continental Shelf Research. 2011, 31(10, Supplement): S64-S83, doi:10.1016/j.csr.2010.02.005	
植被参数	
sgr_diam	直径
sgr_dens	密度
sgr_hthres	高度
底边界层设置（三种 BBL 方案）	
mb_bbl_use = F	Meinte Blaas BBL 方案



mb_calc_znot = F	计算床面糙率
mb_calc_ub = F	计算底部轨道速度
mb_z0bio = F	生物活动对糙率的影响
mb_z0bl = F	底沙对糙率的影响
mb_z0rip = F	波纹对糙率的影响
sg_bbl_use = F	Styles and Glenn (2000) BBL 方案
sg_calc_znot = F	计算床面糙率
sg_calc_ub = F	计算底部轨道速度
sg_logint = F	对数插值
ssw_bbl_use = T	Sherwood/Signell/Warner BBL 方案（常用）
ssw_calc_znot = T	计算床面糙率
ssw_logint = F	对数插值
ssw_calc_ub = F	计算底部轨道速度
ssw_form_drag_cor = F	形阻；波流相互作用下使用最大剪切应力时必须为 T
ssw_zobio = F	生物活动对糙率的影响
ssw_zobl = F	底沙对糙率的影响
ssw_zorip = F	波纹对糙率的影响
sgwc = F	二者择一
m94wc = T	
gm82_ripruf = F	三者择一，计算 ripple roughness 的方法
n92_ripruf = T	
r88_ripruf = F	