1. **前言**
2. **适用范围**
3. **控制方程**

模型控制方程为不可压缩纳维-斯托克斯（Naiver-Stokes）方程。在笛卡尔坐标系 和时间下，方程可表达为如下形式：





其中， ,是方向速度，*p*为总压力，ρ为水体密度，表示体积力，表示湍流应力，为运动粘性系数。

为了准确地描述底床和自由表面并施加压力边界条件，模型使用由Phillips（1957）提出的坐标系，见式（3）。



其中，，*h*是静水深，*η*为波面升高。坐标下，变化范围为0~1，物理域垂直方向上的坐标变化即被限制在该范围内（Lin and Li, 2002）。利用链式求导法则，对于变量，存在以下变换关系：



将式（4）代入式（1）、（2），可以导出坐标系和时间*t*下的控制方程：





其中，为变量矢量，***F***，***G***和***H***为通量矢量



为源项，定义为



其中总压力分为两部分：动压力*p*（为方便起见，下文用*p*表示动压力），静压力。

另外，式（7）中*w*表示笛卡尔坐标系下的垂向速度，式（5）、（7）中ω表示坐标系下垂向速度，定义为：



同时，存在下列变换关系



湍流耗散项表达式：



其中应力可由如下坐标变换关系计算：



运动粘性系数可根据Smagorinsky亚网格模型或者*k-ε*双方程模型计算得到，其中对于Smagorinsky亚网格模型可由下式计算：



式中，为Smagorinsky系数，取值范围0.1~0.2，，应力张量。

将式（5）对从0~1积分，并在利用ω在底床和水面的边界条件，可得自由表面运动控制方程



1. **数值方法**
   1. **时间积分**

对上述式（6）和式（14）的离散，模型采用Godunov类型的有限体积和有限差分混合格式进行。为了保持离散格式的Godunov性质，同时能准确地在自由表面上施加压力边界条件（Yuan and Wu, 2004），空间离散使用交错网格，并将速度定义在网格中心，压力定义在网格表面，如图1所示。动量方程采用二阶Godunov类有限体积法求解，使用HLL近似黎曼求解器计算网格界面处的通量（Harten et al., 1983; Shi et al., 2012）。

* 1. **空间离散**
  2. **边界条件**