

A Numerical Simulation Method of Sediment Transport Based on sedtran05 Model

Xiao Wang, Hao Zhang*, Gangzhu Chen

Unit 69250 of PLA, Urumqi Xinjiang
Email: zhanghao668@sina.com

Received: May 7th, 2019; accepted: May 20th, 2019; published: May 27th, 2019

Abstract

In order to implement the transport of sediment, one-dimensional numerical simulation method based on sedtran05 is proposed. Firstly, considering the density and viscosity of water, the settling velocity, and the transfer equation, the calculate method of vertical profile model is built. Secondly, the Yellow Sea environmental conditions simulation experiments are carried out based on sedtran05 model, calculating the sediment transport rate for different particle of sediment, depth, speed, temperature of seawater. Finally, by comparing the data with other literature with the simulation results, we verify the validity of method and define the scope of application of the model.

Keywords

Sediment Transport, sedtran05 Model, Numerical Simulation

基于sedtran05模型的悬浮物输送数值模拟方法

王 潇, 张 昊*, 陈刚柱

中国人民解放军69250部队, 新疆 乌鲁木齐
Email: zhanghao668@sina.com

收稿日期: 2019年5月7日; 录用日期: 2019年5月20日; 发布日期: 2019年5月27日

摘 要

针对海洋悬浮物运输问题, 研究了一种基于sedtran05模型的数值模拟方法。首先, 考虑水的密度和粘度、沉降流速, 以及传输方程, 搭建了基于垂直剖面输沙模型的计算方法; 然后, 采用sedtran05模型对黄海环境进行模拟, 计算了不同粒径大小、水深、流速和温度时的悬浮物输送率, 并对模型相关参数进行了修

*通讯作者。

正；最后，通过将仿真结果与文献数据进行对比，验证了方法的有效性并明确了模型的适用范围。

关键词

悬浮物输送, sedtran05模型, 数值模拟

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

悬浮物指悬浮在水中的固体物质，包括不溶于水中的无机物、有机物及泥砂、黏土、微生物等常常悬浮在水流之中，使水产生的浑浊现象，其含量与分布情况决定了水域环境的优劣[1]。因此研究悬浮物的输送过程对确定海区环境质量和环境治理有着重要意义。

目前，国内外学者已对悬浮物输送问题进行了一定的研究。一些学者通过对相关水域的海流和悬浮物进行实测得到悬浮物输送量结果，如 Qiu 等[2]分两个时间段，采用定点观测法对黄河口水流及颗粒浓度进行了实测，估算了悬浮物的下行通量，这一方法操作简单，准确度高，但样本数据的时间连续性和覆盖范围有限，适合于小范围水域；另一种则是采用卫星遥感与实测相结合的方法，尹小青等[3]通过建立 MODIS 卫星影像数据与现场实测数据的对应关系，利用海流速度反演得到悬浮物的输送量，这种方法避免了大面积采集样本，但受天气条件和卫星分辨率影响较大，无法获得任意时刻的悬浮物运动数据。

鉴于以上方法的优势和局限性，计算机数值模拟渐渐成为新的研究热点，Cai [4] [5]通过引入风浪潮流和泥沙运动的 MIKE21 模型以及 SWAN 模型，建立了一种能够模拟风浪、潮流和泥沙的数值模型；Yang 等[6]基于 sedtrans05 悬浮物输运模型和破波带内的泥沙输运公式，建立一个计算推移质输运的悬浮物输运模型。以上研究通过建立悬浮物运动模型，研究特定水域的悬浮物输送率，但模型计算结果未考虑初始条件、颗粒、水深、温度、海床高等因素的影响，适用范围有限。

针对以上问题，本文选取近岸河口悬浮物中悬浮泥沙为研究对象，考虑水的密度和粘度、沉降流速，以及传输方程，搭建了基于 sedtran05 垂直剖面输沙模型的计算方法；采用模型对黄海环境进行模拟，计算了不同泥沙粒径、水深、流速和温度时的悬浮物输送率，并对模型相关参数进行了修正；通过将仿真结果与部分文献数据进行对比，验证了方法的有效性并明确了模型的适用范围。

2. 垂直剖面输沙模型

Sedtrans 模型由 Nova Scotia 于 20 世纪 80 年代提出[7]，能够用于模拟稳定流或在海浪、海流综合影响下，沙子或粘性悬浮物的输运问题[8]。

基于 Sedtrans05 建立的数值模型(垂直剖面输沙模型)，在计算粘性悬浮物输运量时，对算法做出改进，计算中考虑波、流共同作用效果，增加了影响输送率的参数计算过程，如水的密度、粘度、温度、悬浮物颗粒大小、沉降流速、再悬浮临界速度、传输方程等，能够逼真地模拟洋流作用下的悬浮物输送过程，而不受模型计算效率和复杂性的限制，进而计算悬浮物输送量。

2.1. 水的密度和粘度

水的密度和动力学粘度，与海水的温度和盐度有关，如式(1)所示

$$\eta = 1.802863 \times 10^{-3} - 6.1086 \times 10^{-5} T + 1.31419 \times 10^{-6} T^2 - 1.35576 \times 10^{-8} T^3 + 2.15123 \times 10^{-6} S + 3.59406 \times 10^{-11} S^2 \quad (1)$$

式中计算误差在温度范围 0 到 28 摄氏度时小于 1%。

2.2. 沉降流速

采用 Gibbs 公式来计算球形颗粒的沉降速度[9]

$$W_s = \frac{v}{D} \left[\left(10.36^2 + 1.049 D_*^3 \right)^{0.5} - 10.36 \right] \quad (2)$$

其中 v 是 (η/ρ) 的运动学粘度, D 为中值粒径, D_* 为无量纲。

2.3. 启动再悬浮的临界剪切速度

泥沙悬浮的临界剪切速度 u_{*crs} , 如式(3)所示

$$1 < D_* \leq 10: \frac{u_{*crs}}{W_s} = \frac{4}{D_*} \quad (3)$$

2.4. 传输方程

泥沙传输速率与粒子速度的速率, 跃移高度和泥沙浓度有关, 瞬时泥沙传输速率和剪切应力参数有关, 泥沙在纯净状态下的传输速率为[10]:

$$q = \alpha (s-1)^{0.5} g^{0.5} D^{1.5} D_*^{-0.3} T_m^{2.1} \quad (4)$$

其中 s 是悬浮物和水密度的比率, α 是一个常数等于 0.053。在这里, τ_{cs} 是瞬间床面摩擦流切应力, 而 τ_{crb} 是启动泥沙运动的临界剪切应力。

合并流和波的情况下瞬时推移质输沙率有:

$$q = 0.25 \alpha D D_*^{-0.3} \left(\frac{\tau_{cws}}{\rho} \right)^{0.5} T_m^{1.5} \quad (5)$$

上式子中 $\alpha = 1 - (H_s/h)^{0.5}$, 是个校准系数, H_s 为显著波高度(m), H 为水深(m), τ_{cws} 是瞬时结合床面摩擦剪切应力, 时间平均推移质输沙率由一个波的周期内的平均值得到。

3. 仿真实验

实验主要以黄海海洋环境为背景, 研究粒径大小、水深、流速、和温度等海洋参数, 对悬浮物输送率的影响。黄海北部东岸的悬浮物为黏土质粉砂, 其密度为 1.469 g/cm^3 。将参数分别设置为水深 20 m, 流速为 0.42 m, 流向为从北为正顺时针 150° , 需要计算的位置为海床上方 5 m, 波高 1.5 m, 波的周期设为 3.0 s, 波的方向为以北顺时针 145° , 泥沙粒径设为 0.025 mm, 盐度 30, 温度为 25°C 。图 1 为 sedtrans05 模型中五种不同方程所计算出的悬浮物输送率。

3.1. 泥沙粒径的影响(0.01~0.075 mm)

图 2 为悬浮物输送率与泥沙粒径的变化关系, 由图中可知, 悬浮物输送率在泥沙粒径为 0.062 mm 时出现突变, 因此可以将图像分为两种情况进行分析, 分别是粒径大于 0.062 mm 和小于 0.062 mm。可以得到, 悬浮物的输送率会随着粒径的增大而减小, 且由图上显示为凹函数可知减小的趋势不断增大。

Sedtrans05

Comparison between the results of the different methods

		Transport rate m ³ /s/m	Transport rate kg/s/m	Direction
1 - Engelund-Hansen (1967)	Total load	1.765e-05	0.02593	150.0 °
2 - Einstein-Brown (1950)	Bedload	2.966e-07	4.357e-04	150.0 °
3 - Bagnold (1963)	Total load	5.07e-05	0.07448	150.0 °
4 - Yalin (1963)	Bedload	8.273e-07	0.001215	150.0 °
5 - Van Rijn (1993)	Bedload	3.125e-07	4.59e-04	150.0 °

Close

Figure 1. Result of conveying sand with different output equation in sedtran05

图 1. sedtran05 输出不同方程计算输沙结果

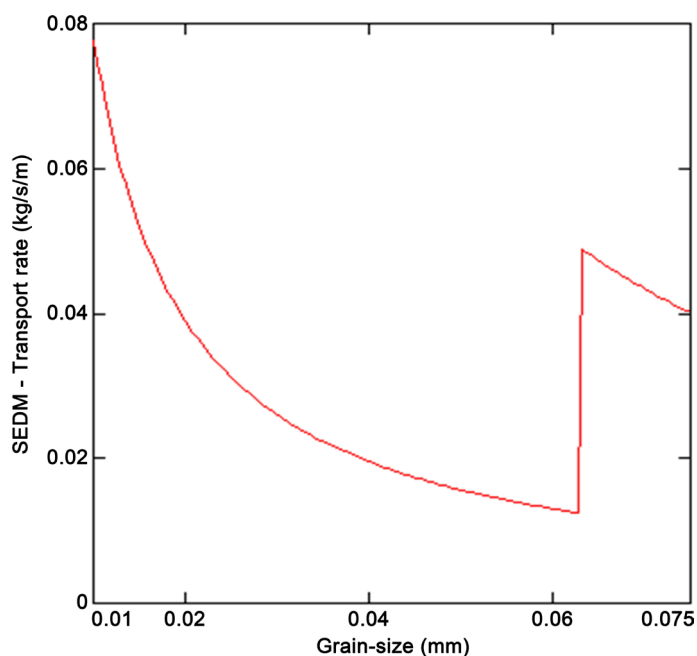


Figure 2. The relationship between the transport rate and sediment particle size

图 2. 悬浮物输送率与泥沙粒径的变化关系

3.2. 水深的影响(5~30 m)

图 3 为悬浮物输送率与水深变化的关系, 对于悬浮物输送率, 由图中可知, 在水深小于 13 m 时, 输送率随深度增加而减小, 而当水深超过 13 m 后, 输送率受水深影响较小, 这一临界值区别了浅水和深水的悬浮物输送情况。

3.3. 水流流速的影响(0.1~1 m/s)

图 4 为悬浮物输送率与流速的变化关系, 有图中可知, 悬浮物输送率会随着水流速的加快而增大, 且为增大速率会不断变大, 表明海水流速对悬浮物的输送起着重要作用, 验证了波浪掀沙, 海流输沙这水深一规律。

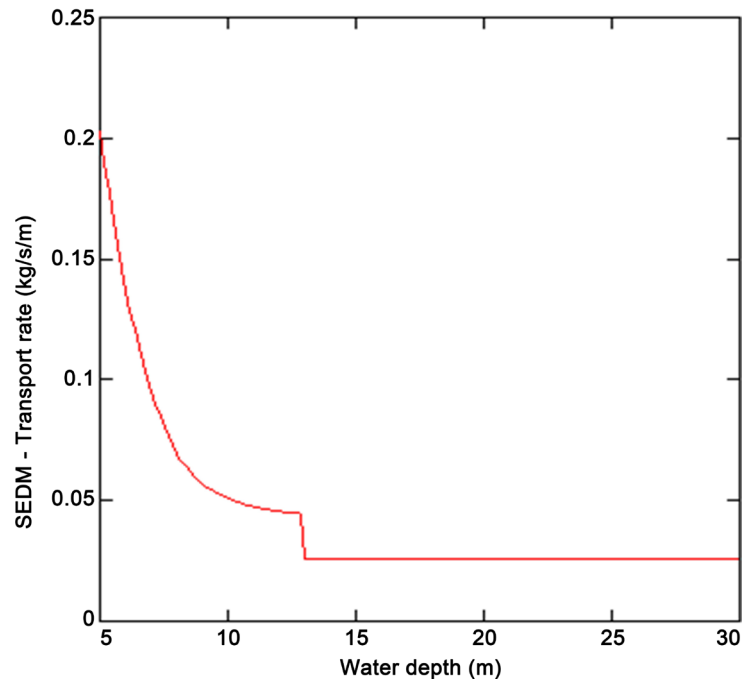


Figure 3. The relationship between the transport rate and depth of water
图 3. 悬浮物输送率与水深变化的关系

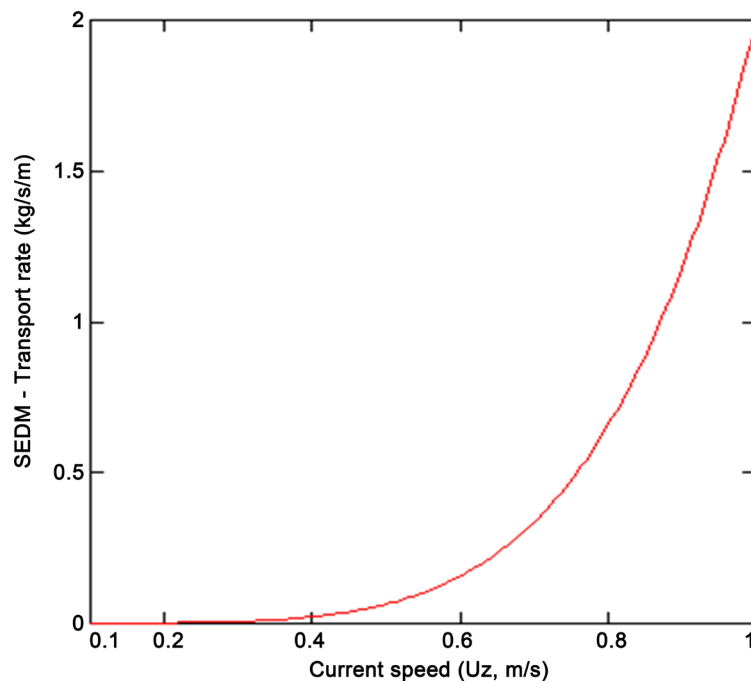


Figure 4. The relationship between the transport rate and velocity
图 4. 悬浮物输送率与流速的变化关系

3.4. 海床上方高度的影响(0.1~20 m)

图 5 为海床上方高度与输沙率的关系，有图中可知，当某位置越接近海床时，输送率越高，反之，越接近海面时，输送率越低。

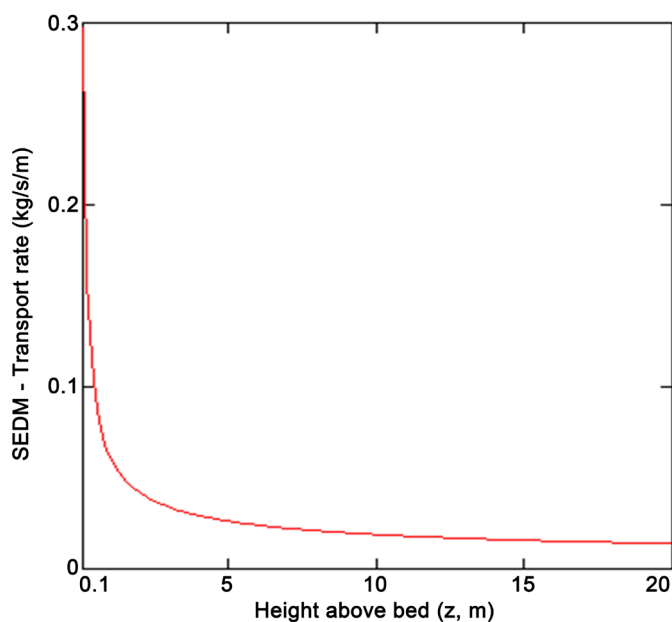


Figure 5. The relationship between the transport rate and sea level
图 5. 悬浮物输送率与海床上方高度变化的关系

3.5. 温度的影响(10°C~25°C)

图 6 为悬浮物输送率与温度的关系，由图中可知，当温度升高时会降低悬浮物的输送率，且图中曲线为凸函数，表明降低速率会随着温度的升高略微减小，即输送率整体减小，但减小的趋势逐渐缓慢。

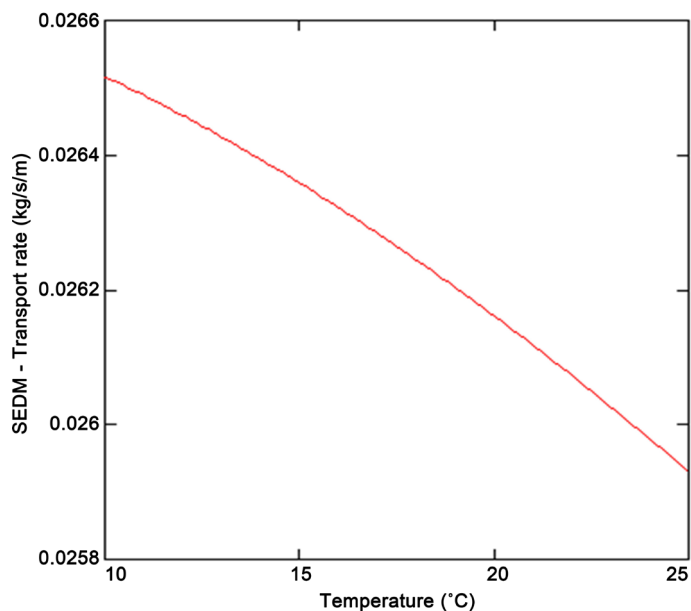


Figure 6. The relationship between the transport rate and temperature
图 6. 悬浮物输送率与温度的关系

由以上仿真分析可知，在不同的泥沙颗粒大小、水深、水流速度、海床高度等条件下，输沙量具有较大差别，且结果表明，Sedtran05 模型所做的是推移质数值模拟，不适合于中国黄海等泥沙粒径较小地

区, 适合于泥沙粒径大, 并且沿岸海水较深的地方, 如中国南海, 海州湾, 东海陆架海地区等。

4. 结语

本文选取近岸河口悬浮物中悬浮泥沙为研究对象, 首先, 考虑水的密度和粘度、沉降流速, 以及传输方程, 搭建了垂直剖面输沙模型的计算方法; 然后, 采用 sedtran05 模型对黄海环境进行模拟, 计算了不同泥沙粒径、水深、流速和温度时的悬浮物输送率, 并对模型相关参数进行了修正; 最后, 通过将仿真结果与文献数据进行对比, 验证了方法的有效性并明确了模型的适用范围。

参考文献

- [1] 孙湘平. 近海区域海洋学[M]. 北京: 海洋出版社, 2006: 95-248.
- [2] Qiu, Z.F., Xiao, C., Perrie, W., *et al.* (2017) Using Landsat 8 Data to Estimate Suspended Particulate Matter in the Yellow River Estuary. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, **122**, 276-290. <https://doi.org/10.1002/2016JC012412>
- [3] 尹小青, 杨顶田, 周立柱. 黄、东海边界悬浮物输运量的卫星遥感估算[J]. 热带海洋学报, 2018, 37(2): 10-16.
- [4] Cai, L.N., Tang, D.L., Levy, G., *et al.* (2016) Remote Sensing of the Impacts of Construction in Coastal Waters on Suspended Particulate Matter Concentration—The Case of the Yangtze River Delta, China. *International Journal of Remote Sensing*, **37**, 2132-2147. <https://doi.org/10.1080/01431161.2015.1121302>
- [5] Cai, L.N., Tang, D.L. and Li, C.Y. (2015) An Investigation of Spatial Variation of Suspended Sediment Concentration Induced by a Bay Bridge Based on Landsat TM and OLI Data. *Advances in Space Research*, **56**, 293-303. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2015.04.015>
- [6] Yang, X.F., Mao, Z.H., Huang, H.Q., *et al.* (2016) Using GOCI Retrieval Data to Initialize and Validate a Sediment Transport Model for Monitoring Diurnal Variation of SSC in Hangzhou Bay, China. *Water*, **8**, 108-113. <https://doi.org/10.3390/w8030108>
- [7] 陆海建. 二维风浪潮流泥沙数学模型在天津港新建滚装码头工程中的应用[D]: [硕士学位论文]. 天津: 天津大学, 2010.
- [8] 孙文心, 江文胜, 李磊. 近海环境流体动力学数值模型[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 333-356.
- [9] 宋永港. 海南岛重点区沙滩波流输沙模型[D]: [硕士学位论文]. 上海: 华东师范大学, 2011.
- [10] 王飞, 王珊珊, 王新, 等. 杭州湾悬浮泥沙遥感反演与变化动力分析[J]. 华中师范大学学报(自然科学版), 2014, 48(1): 112-116, 135.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2161-8801, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: csa@hanspub.org