

# 静止轨道卫星观测杭州湾悬浮泥沙浓度的动态变化及动力分析

刘猛, 沈芳, 葛建忠, 孔亚珍

(华东师范大学 河口海岸学国家重点实验室, 上海 200062)

**摘要:**利用静止轨道水色遥感卫星 GOCI 的一天多景数据, 采用基于半经验辐射传输模型 (SERT), 反演获得杭州湾海区悬浮泥沙浓度的时空分布; 结合三维无结构三角形网格的有限体积海洋数值模型 (FVCOM), 模拟卫星成像时刻杭州湾水位、潮流分布状况。综合分析结果表明: 潮流变化是该海区在涨落潮、大小潮悬沙分布变化的主要影响因素; 风浪作用导致杭州湾海域悬沙浓度枯季明显大于洪季。

**关键词:**静止轨道卫星; 悬浮泥沙; 动态变化; 海洋数值模拟; 杭州湾

**中图分类号:**TV148.5      **文献标识码:**A      **文章编号:**0468-155X(2013)01-0007-07

## 1 引言

杭州湾位于浙江省北部, 港口航道、滩涂及水产资源丰富。上海、宁波等经济开发区环绕南北, 经济开发利用价值巨大<sup>[1]</sup>。杭州湾地形特殊, 具有潮大、流急、含沙量高等特点, 而高浓度含沙水体对港口影响巨大。因此, 掌握杭州湾海区悬浮泥沙的变化规律, 无疑对海区以后的工程决策、区域地形演变、沉积侵蚀速率有着重要意义<sup>[2]</sup>。多年以来, 为了更加深入地了解杭州湾悬浮泥沙运动规律, 很多学者以站点实测资料为基础, 探讨了该海域悬沙变化问题。陈吉余等<sup>[3,4]</sup>依托长江口南汇嘴的实测泥沙和流速资料, 分析了长江口到杭州湾的泥沙输移途径; 针对杭州湾内浅滩、岛屿等的泥沙变化规律其他学者也进行了分析<sup>[5-8]</sup>。然而基于测船的实地调查, 获得的数据比较离散, 很难了解整个湾内的悬浮泥沙分布及变化全貌。由于卫星遥感具有覆盖面积大、多次重访的特点, 有利于探测海域悬浮泥沙的连续分布和变化。早期, 陈夏法<sup>[1]</sup>利用 NOAA 卫星影像对杭州湾悬浮泥沙进行了多实相的遥感分析; 陈鸣等<sup>[9]</sup>利用 Landsat 和 NOAA 遥感资料联合监测了杭州湾的悬浮泥沙。21 世纪以来, 更多学者采用了 SeaWiFS、MODIS、MERIS 海洋水色卫星数据观测杭州湾悬浮泥沙的分布<sup>[2,10,11]</sup>。

然而受卫星重访周期的限制, 极轨卫星遥感反演最多只能获得每天某一时刻的悬沙分布, 无法获得一个潮周期时间内悬沙分布的变化过程。由于潮周期内的流速变化和 水位变化是杭州湾悬浮泥沙浓度变化的主要影响因素<sup>[12]</sup>, 故结合连续时刻的悬沙遥感反演及卫星成像时刻海区的潮流情况, 可为杭州湾海区悬浮泥沙分布及变化规律的揭示开辟一个新的途径。本文收集了覆盖杭州湾海区每小时重访的静止轨道水色卫星数据 GOCI, 利用 Shen 等<sup>[13]</sup>半经验辐射传输模型 (SERT) 反演杭州湾海域悬浮泥沙浓度; 同时采用基于有限体积海洋数值模型 FVCOM, 模拟了卫星成像时刻前后的杭州湾海域的潮流分布, 综合分析了杭州湾海域悬沙的浓度随不同潮情和季节的变异特性。

**收稿日期:**2012-09-07

**基金项目:**海洋公益性科研专项(200905001-9); 国家自然科学基金项目(50939003, 41271375); 高等学校博士学科点专项科研基金(20120076110009); 河口海岸学国家重点实验室科研业务项目(2012KYYW02, 2011RCDW03)

**作者简介:**刘猛(1989-), 男, 江苏徐州人, 硕士研究生, 主要从事海岸带遥感及地理信息系统研究。

E-mail: liumeng\_824@126.com

**通讯作者:**沈芳。E-mail: fshen@sklec.ecnu.edu.cn

## 2 研究区域

杭州湾是一典型喇叭型强潮河口,基本呈东西走向,全长 85km,湾口连线(芦潮港—镇海)宽 98.5km,湾顶连线(澈浦—西山)宽 19.4km,海湾水域面积 4 800km<sup>2</sup>。杭州湾口至湾顶乍浦海底地形平坦,平均水深 8~10m,北部沿岸有一长度约为 60km 的深槽,其水深一般为 10~15m,局部地区水深达 20~40m<sup>[8]</sup>。杭州湾海区潮汐运动的基本能量来自西北太平洋,且以 M<sub>2</sub>分潮起支配作用,潮汐性质属于非正规半日潮。平均落潮历时略大于涨潮历时,从湾口芦潮港到湾顶澈浦,平均潮差从 3.21m 逐渐增大到 5.57m<sup>[14]</sup>。图 1 中为模拟得到的 2011 年 4 月 5 日 0:00-13:00 的流速、流向的逐时过程图。如图 1 所示,湾内涨落潮流为往复流性质,但涨落潮方向南北有所差别。在湾内中部和南部地区,涨落潮流向基本呈 NW-SE 方向。在湾顶位置,出自钱塘江河口的落潮流,大部分过庵东浅滩转向东南,小部分沿杭州湾北岸深槽向东北流向湾口,在金山沿岸附近变为正东向,最后在长江口落潮流的影响下转向东南。海区内涨潮流方向基本上与落潮流相反。

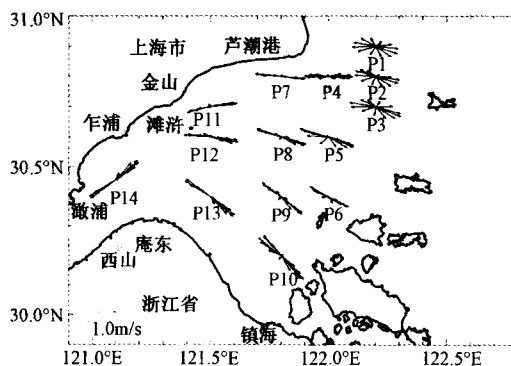


图 1 杭州湾及模拟 4 月 5 日部分站位表层的流速、流向逐时过程线图

Fig. 1 Surface current velocities and directions at stations in Hangzhou Bay on April 5, 2011

## 3 数据与方法

### 3.1 GOCI 数据

GOCI(Geostationary Ocean Color Imager)传感器搭载于由韩国 2010 年 7 月发射的世界上第一颗地球静止轨道水色卫星 CMOS(Communication Ocean and Meteorological Satellite)。传感器设计地面分辨率 500m,可实现以 36°N 和 130°E 为中心、2 500km 刈幅、每天 10 景的拍摄任务,其中 8 景成像时间在白天,2 景在夜晚(红外)。白天的成像时间从地方时 8:00-15:00 每小时一次。表 1 列出了传感器其他部分信息。

表 1 GOCI 传感器数据特性

Table 1 Characteristics of GOCI sensor

波段	1	2	3	4	5	6	7	8
中心波长/nm	412	443	490	555	660	680	745	865
波段带宽/nm	20	20	20	20	20	10	20	40
最大海洋辐亮度/(W/(m <sup>2</sup> ·um·sr))	150.0	145.8	115.5	85.2	58.3	46.2	3.0	23.4

本文收集了 2011 年 4 月 5 日、12 日和 8 月 19 日的时间覆盖为太阳高度角适中的 9:00-14:00 六个时刻共 18 景 GOCI 影像数据进行悬沙浓度的遥感反演。所选卫星影像成像时刻的潮流条件包括了涨潮和落潮,时间分布覆盖了洪、枯季。

### 3.2 方法

#### 3.2.1 悬浮泥沙浓度的反演方法

本文采用基于半经验辐射传输模型(SERT)的悬浮泥沙遥感反演模型<sup>[13]</sup>,其表达式如下

$$R_{rs} = (\alpha\beta C_{ss}) / (1 + \beta C_{ss} + \sqrt{1 + 2\beta C_{ss}}) \quad (1)$$

其中  $R_{rs}$  为遥感反射率(也称离水辐射反射率),  $C_{ss}$  为悬浮泥沙浓度,  $\alpha$ 、 $\beta$  为经验参数。考虑到宽范围悬沙浓度(如 0.020 ~ 2.5g/L)下可能出现的遥感反射率饱和, Shen 等<sup>[13]</sup> 通过敏感性分析提出了多波段转换的反演方案, 提出较低悬沙浓度(如 < 0.020g/L)下  $R_{rs}(555)$  敏感度较高, 中等悬沙浓度(如 < 0.20g/L)下  $R_{rs}(660)$  敏感相对较高,  $R_{rs}(745)$  可反演高悬沙浓度(> 0.20g/L), 以提高宽范围悬沙浓度的反演精度。GOCI 的 3 个波段 555nm、660nm、745nm 转换参数见表 2。

### 3.2.2 杭州湾潮流的数值模拟

杭州湾海区岛屿众多, 岸线复杂多变, 岛屿岸线对水流方向起到十分重要的诱导作用。根据实测资料, 湾内岛屿间水流垂向变化明显, 存在明显的三维特征, 杭州湾海区独特的地形和水动力特性对数值模拟方法的选择提出了要求。本文采用三维无结构三角形网格有限体积的河口近海数值模式 FVCOM(Finite Volume Coastal Ocean Model), 模拟杭州湾海区对应卫星成像时刻的水位和潮流分布图。FVCOM 应用在杭州湾海域有两个优点:(1) 计算网格为无结构的三角形网格, 可以准确的拟合杭州湾区域多岛屿、多汉道地区的岸线;(2) 三维模式, 可模拟流速的垂向变化, 模型验证详见参考文献<sup>[15]</sup>。

表 2 GOCI 选用波段在 SERT 模型中的  $\alpha$ 、 $\beta$  值  
Table 2 Two parameters of SERT model at candidate GOCI bands

波段/nm	555	660	745
$\alpha$	0.048	0.0721	0.0982
$\beta$	43.8416	16.9754	2.5052

## 4 结果

利用 SERT 模型反演得到了 2011 年 4 月 5 日、4 月 12 日和 8 月 19 日杭州湾海区表层悬浮泥沙浓度。限于篇幅, 文中只列出了表示 4 月 5 日 9:00 - 14:00 6 个时刻的表层悬沙浓度反演结果和对应时刻的表层流场分布(图 2); 4 月 12 日、8 月 19 日当日 10:00 的表层悬沙浓度反演结果(图 3)。

## 5 高时间频率悬浮泥沙浓度的时空分布变化

### 5.1 悬浮泥沙浓度的潮流周期性变化

#### 5.1.1 悬浮泥沙随涨、落潮的变化

杭州湾海区含沙量随涨落潮流的变化显著。如图 2 所示, 杭州湾海区含沙量分布由北向南逐渐增加, 且在湾口北部和庵东滩地前缘海区存在两个明显的高含沙量区。这与杭州湾涨落潮流流路基本吻合。在 4 月 5 日 9:00 - 14:00 期间, 杭州湾湾内整体处于大潮涨潮中期到落潮初期阶段, 如图 2 中潮流部分所示, 由于湾口南部舟山岛屿的层层阻隔, 杭州湾北部作为涨潮流的主要通道, 水位抬升过程明显快于南岸。经南汇嘴进入杭州湾北岸水域的长江下泄泥沙<sup>[4,16-18]</sup>, 受 NW 向涨潮流的顶托沿杭州湾北岸向湾顶输运。落潮时, 钱塘江落潮流大部沿南岸而出, 在庵东浅滩前缘, 水流辐散, 在潮流和风浪作用下, 平均含沙量达到 2.5g/L, 而后在偏南落潮流的作用下向湾口运移。用反演得到的每个时刻的悬沙浓度减去上个时刻的反演结果, 可得到不同时刻间整个杭州湾海域的悬沙净变情况。在 4 月 5 日的结果中, 有一明显的净增水团在靠近杭州湾北岸边向湾顶位置移动。在 4 月 12 日的结果中, 随着落潮流的不断增大, 杭州湾南岸悬沙浓度不断增加。这形成了杭州湾悬沙类似于“C”形的北进南出的基本格局。

涨落潮流流路主要影响了杭州湾泥沙的整体运移趋势, 而涨落潮流速的变化控制了悬沙浓度的变化趋势。如在 4 月 5 日的反演结果中, 在图 1 中湾口 P5 点位置, 当涨潮流速由 1.47m/s 降到 0.42m/s 时, 对应的悬沙浓度从 1.66g/L 减小到 0.72g/L。湾顶 P13 点位置, 涨潮流速由 1.64m/s 下降到 0.68m/s 时, 悬沙浓度从 2.64g/L 降低到 1.24g/L; 在 4 月 12 日的反演结果中, 在 P5 点, 当落潮流速从 0.55m/s 增加到 0.9m/s 时, 悬沙浓度从 0.117g/L 增加到 0.226g/L; 湾顶 P13 点, 当落潮流速从 0.53m/s 增加到 1.05m/s 时, 悬沙浓度从 0.106g/L 增加到 0.293g/L。

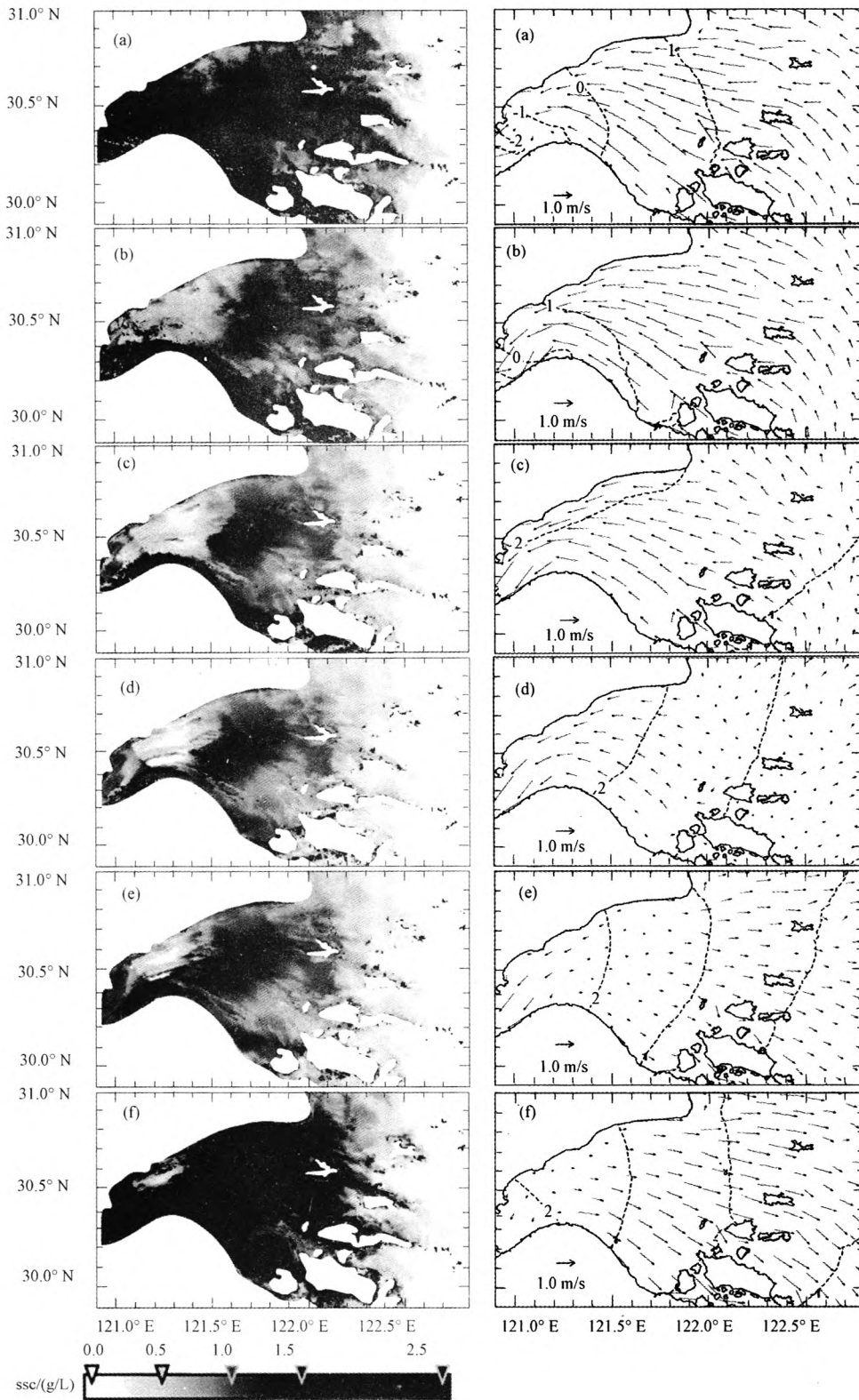


图2 图2 GOCI 卫星数据反演的2011年4月5日大潮杭州湾海域表层悬浮泥沙浓度分布及对应时刻的潮流分布(a-f分别代表9:00-14:00)  
 Fig.2 Suspended sediment concentration (SSC) retrieved from GOCI data on April 5, 2011 and corresponding flow distribution in Hangzhou Bay (a-f represent 9:00-14:00, respectively)

在杭州湾海域, 涨落潮流的变化是该海区悬沙分布变化的主要影响因素。其中, 涨落潮流向主要影响潮周期内悬沙的整体分布, 表现为涨潮时, 泥沙沿北岸向湾顶运移, 落潮时, 泥沙随流沿南岸向湾口运移; 流速的变化控制了悬沙浓度的总体趋势变化, 表现为由潮流作用引起的泥沙再悬浮, 在流速大小变

化时导致的泥沙浓度的差异。

### 5.1.2 悬浮泥沙浓度随大、小潮的变化

对比图 2(b)与图 3(a),杭州湾悬浮泥沙浓度大潮明显大于小潮。由图 1 中所示的 14 个站位的大潮平均悬沙浓度为 1.115g/L,小潮仅为 0.295g/L,这显然与大小潮的流速变化有关。表 3 列举了图 1 中所示 14 个站位枯季大小潮的平均悬沙浓度及其比值与相应的平均最大流速及其比值。总体上,大、小潮的悬沙浓度的平均比值为 3.8:1,平均最大流速比值为 1.75:1,即流速增加 1 倍含沙量约增加 2.2 倍。因此,大小潮周期悬沙浓度的变化与潮流流速的变化之间关系密切。这与陈吉余等<sup>[4]</sup>在分析实测资料的基础上得到的结论是基本一致的。

表 3 枯季其它站点大小潮表层平均悬沙浓度和平均最大流速

Table 3 Averaged SSC and maximum velocities at other stations during spring and neap tides in April

点号	4月5日大潮		4月12日小潮		悬沙浓度比	流速比
	含沙量/(g/L)	流速/(m/s)	含沙量/(g/L)	流速/(m/s)		
P1	0.71	1.14	0.20	0.64	3.49:1	1.78:1
P2	0.85	1.36	0.37	0.61	2.26:1	1.64:1
P3	0.76	1.52	0.25	0.92	2.99:1	1.66:1
P4	0.97	1.52	0.31	0.96	3.12:1	1.59:1
P5	1.12	1.52	0.18	0.82	6.26:1	1.85:1
P6	1.10	1.32	0.13	0.71	8.23:1	1.85:1
P7	1.00	1.38	0.32	0.85	3.12:1	1.63:1
P8	1.68	1.52	0.43	0.84	3.96:1	1.82:1
P9	1.11	1.50	0.05	0.86	22.54:1	1.74:1
P10	1.13	1.38	0.20	0.84	5.77:1	1.64:1
P11	1.15	1.71	0.32	0.87	3.62:1	1.97:1
P12	1.21	1.56	0.13	0.83	9.56:1	1.87:1
P13	1.66	1.93	0.21	1.14	7.94:1	1.70:1
P14	1.16	1.68	1.03	0.92	1.13:1	1.83:1

纵观整个杭州湾内的悬沙浓度分布,不同位置的变化也比较大。在靠近湾顶及庵东浅滩位置,由于水流辐散,在水流及风浪的作用下悬沙浓度一直处于较高水平,而在湾顶群岛海域,由于岛屿间峡道作用的影响,悬沙浓度变化迅速且多样。

### 5.2 悬浮泥沙浓度的季节性变化

对比反演得到的 4 月 5 日与 8 月 19 日同处于涨潮阶段的悬沙浓度分布,杭州湾海域枯季悬沙浓度明显大于洪季。表 4 给出了两天 10:00 时 14 个点位的悬沙浓度。整个杭州湾海区的悬沙浓度分布如图 3 所示,在枯季,平均 80% 的区域悬沙浓度大于 0.8g/L,且最大值大于 2g/L;在洪季,平均 60% 的区域悬沙浓度大于 0.06g/L,但最大值小于 0.8g/L。

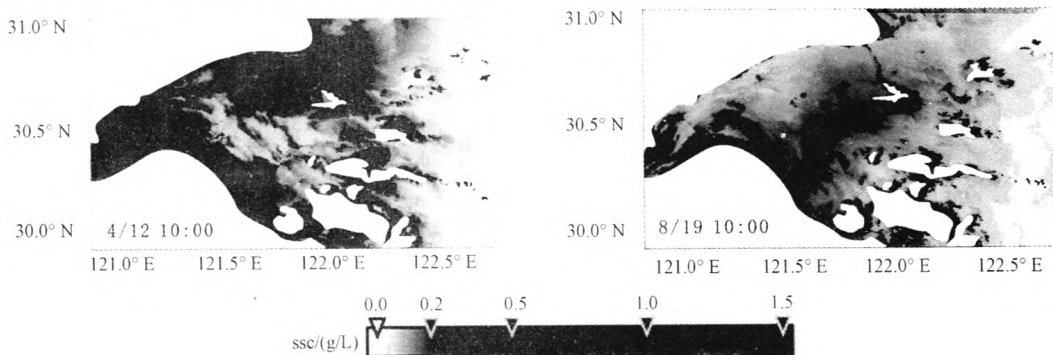


图 3 GOCI 卫星数据反演的杭州湾海域表层悬浮泥沙浓度分布(2011 年)

Fig.3 Suspended sediment concentration (SSC) retrieved from GOCI data in Hangzhou Bay(2011)

杭州湾海域处于长江口入海径流所携带泥沙的扩散范围,其泥沙来源主要为长江口径流输沙和潮

流携带来的海域泥沙, 后者的最初来源亦为长江口<sup>[16-18]</sup>。长江入海泥沙的南向输运也具有明显的季节性, 即枯季南向输运量较多, 洪季输运量较少<sup>[19]</sup>。但杭州湾海区高悬沙浓度主要由潮流和风浪作用导致的泥沙再悬浮引起。以湾内滩浒为例, 其全年平均泥沙再悬浮率为 91.7%, 枯季 4 月泥沙再悬浮率高达 97.2%, 远高于洪季 8 月的 76.3%<sup>[20]</sup>。杭州湾海区位于季风区域, 全年风浪作用明显, 且冬半年平均波高大于夏半年<sup>[21]</sup>。枯季强劲的风浪扰动和潮流导致的泥沙再悬浮和垂向悬沙混合作用相较于洪季大大增强<sup>[4,16,19]</sup>, 因此, 由潮流和风浪作用引起的泥沙再悬浮作用导致了杭州湾海域冬季悬沙浓度明显大于夏季, 这一结论在其它有关文献中也有证实<sup>[22,23]</sup>。

表 4 4 月 5 日与 8 月 19 日 10:00 时的悬沙浓度  
Table 4 GOCI-derived SSC at 10:00 on April 5 and August 19, 2011

点号	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7
4 月 5 日	0.801	0.935	0.805	0.853	1.047	1.032	1.026
8 月 19 日	0.061	0.099	0.126	0.101	0.279	0.127	0.106
比值	13.1:1	9.4:1	6.4:1	8.4:1	3.8:1	8.1:1	9.6:1
点号	p8	p9	p10	p11	p12	p13	p14
4 月 5 日	1.506	1.009	1.093	0.845	0.655	1.247	0.877
8 月 19 日	0.276	0.151	0.113	0.080	0.093	0.213	0.113
比值	5.5:1	6.6:1	9.6:1	10.5:1	7.0:1	5.8:1	7.7:1

## 6 结论

利用基于半经验辐射传输模型(SERT)的悬浮泥沙遥感反演模型和三维、无结构三角形网格、有限体积的河口近海数值模式 FVCOM, 综合了静止轨道卫星遥感大范围高频覆盖与水动力精确模拟的优势, 揭示了杭州湾海域悬浮泥沙的时空变化规律:

(1) 涨落潮流流速和流向变化是杭州湾海区悬沙分布随涨落潮变化的主要影响因素: 表现为涨潮时, 泥沙沿北岸向湾顶运移, 落潮时, 泥沙随流沿南岸向湾口运移; 流速的变化控制了悬沙浓度的总体趋势变化, 表现为随着涨落潮流速的变化引起的泥沙再悬浮导致的泥沙浓度差异。

(2) 潮流月周期变化引起的潮流流速的差异, 导致大小潮周期悬沙浓度变化显著: 大、小潮的悬沙浓度的平均比值为 3.8:1, 平均最大流速比值为 1.75:1, 即流速增加 1 倍含沙量约增加 2.2 倍。

(3) 冬季强劲的风浪扰动和潮流作用引起泥沙再悬浮和垂向悬沙混合作用增强, 导致了冬季海区悬沙浓度明显大于夏季。

具有每小时重访能力的静止轨道水色卫星 GOCI 在悬浮泥沙浓度反演上的应用, 不仅突破了传统单点现场测量范围的局限性, 也突破了极轨卫星最多一天一次重访周期获得的某一动力状态下的悬沙浓度分布, 这为观测和分析一个潮周期内的悬沙分布及输运过程提供了强有力的技术支持。

### 参考文献:

- [1] 陈夏法. 杭州湾悬浮泥沙多时相遥感分析 [J]. 环境遥感, 1989, 4(2): 127-135.
- [2] 杨华, 许家帅, 侯志强. 洋山港海区悬浮泥沙运动遥感分析 [J]. 水道港口, 2003, 24(3): 126-130.
- [3] Chen Jiyu, Zhu Huiyang, Dong Yongfa. Development of the Changjiang Estuary and its submerged delta [J]. Continental Shelf Research, 1985, 4(1): 47-56.
- [4] 陈吉余, 陈沈良, 丁平兴, 等. 长江口南汇咀近岸水域泥沙输移途径 [J]. 长江流域资源与环境, 2001, 10(2): 166-172.
- [5] 王繁, 周斌, 徐建明, 等. 杭州湾悬浮泥沙浓度垂向分布规律分析与模拟 [J]. 浙江大学学报(工学版), 2008, 42(11): 2028-2033.
- [6] 谢文辉, 陈沈良, 谷国传, 等. 崎岖列岛邻近海域的水文泥沙特征 [J]. 东海海洋, 2000, 18(2): 1-8.
- [7] 李炎, 谢钦春. 杭州湾庵东浅滩地貌演变规律 [J]. 东海海洋, 1993, 11(2): 25-33.
- [8] 倪永强, 耿兆铨, 朱军政. 杭州湾水动力特性研讨 [J]. 水动力学研究与进展, 2003, 18(4): 439-445.

- [ 9 ] 陈鸣, 李士鸿. 应用 Landsat 和 NOAA 遥感资料联合监测杭州湾的悬浮泥沙[J]. 泥沙研究, 1989(3): 29 - 34.
- [10] 吴传庆, 王桥, 杨志峰, 等. 长江口及南北海域泥沙遥感分析 [J]. 遥感技术与应用, 2007, 22(6): 707 - 711.
- [11] 李云驹, 常庆瑞, 杨晓梅, 等. 长江口悬浮泥沙的 MODIS 影像遥感监测研究 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2005, 33(4): 117 - 121.
- [12] 陈沈良, 谷国传. 杭州湾口悬沙浓度变化与模拟 [J]. 泥沙研究, 2000(5): 45 - 50.
- [13] Shen Fang, Verhoef Wouter, Zhou Yunxuan, et al. . Satellite estimates of wide-range suspended sediment concentrations in Changjiang(Yangtze) Estuary using MERIS data[J]. Estuaries and Coasts, 2010, 33: 1420 - 1429.
- [14] 谷国传, 李身铎, 胡方西. 杭州湾北部近岸水域水文泥沙特性 [J]. 东海海洋, 1987, 5(4): 15 - 24.
- [15] Ge Jianzhong, Chen Changsheng, Qi Jianhua, et al. . A dike-groyne algorithm in a terrain-following coordinate ocean model(FVCOM): Development, validation and application [J]. Ocean Modelling, 2012, 47: 26 - 40.
- [16] 李久发. 长江河口南汇潮滩泥沙输移规律探讨 [J]. 海洋学报, 1990, 12(1): 75 - 82.
- [17] 孔俊, 叶荣辉, 薛晓晓, 等. 南汇东滩对长江口与杭州湾泥沙交换的影响研究 [J]. 水道港口, 2009, 30(2): 77 - 81.
- [18] 恽才兴, 蒋孟裔, 王宝全. 利用卫星象片分析长江入海悬浮泥沙扩散问题 [J]. 海洋与湖沼, 1981(5): 390 - 403.
- [19] 刘红, 何青, Gert Jan Weltje, 等. 长江入海泥沙的交换和输移过程——兼论泥质区的“泥库”效应 [J]. 地理学报, 2011, 66(3): 291 - 304.
- [20] 陈沈良, 张国安, 杨世伦, 等. 长江口水域悬沙浓度时空变化与泥沙再悬浮 [J]. 地理学报, 2004, 59(2): 260 - 266.
- [21] 陈沈良. 崎岖列岛海区的水文泥沙及其峡道效应 [J]. 海洋学报, 2000, 22(3): 123 - 134.
- [22] 沈焕庭, 李九发. 长江河口水沙输运 [M]. 北京: 海洋出版社, 2011.
- [23] 曹沛奎, 谷国传, 董永发, 等. 杭州湾泥沙运移的基本特征 [J]. 华东师范大学学报(自然科学版), 1985(3): 75 - 84.

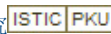
## **Diurnal variation of suspended sediment concentration in Hangzhou Bay from geostationary satellite observation and its hydrodynamic analysis**

LIU Meng, SHEN Fang, GE Jian-zhong, KONG Ya-zhen

*(State Key Laboratory of Estuarine and Coastal Research, East China Normal University, Shanghai 200062, China)*

**Abstract:** A semi-empirical radiative transfer (SERT) model is employed to retrieve suspended sediment concentration (SSC) in the Hangzhou Bay using Geostationary Ocean Color Imager (GOCI) data that have 8 scenes in each day. A three-dimensional (3-D) unstructured-grid, free-surface, primitive equation, Finite-Volume Coastal Ocean Model (FVCOM) is applied to simulate tidal current distribution in the Hangzhou Bay at the moment of GOCI overpass. Diurnal variation of the SSC distribution from the GOCI observation and hydrodynamic environment from FVCOM simulation are comprehensively analyzed. The results show that the SSC has a change with tide rise and fall during a tidal cycle. The flow changes should be the main impact factors on the SSC distribution in the Bay. The effects of wind-driven waves cause the SSC in winter larger than in summer.

**Key words:** geostationary satellite; suspended sediment; hydrodynamic analysis; numerical simulation; Hangzhou Bay

作者: 刘猛, 沈芳, 葛建忠, 孔亚珍, LIU Meng, SHEN Fang, GE Jian-zhong, KONG Ya-zhen  
作者单位: 华东师范大学河口海岸学国家重点实验室, 上海, 200062  
刊名: 泥沙研究   
英文刊名: Journal of Sediment Research  
年, 卷(期): 2013(1)

## 参考文献(23条)

1. 陈夏法 [杭州湾悬浮泥沙多时相遥感分析](#) 1989(02)
2. 杨华;许家帅;侯志强 [洋山港海区悬浮泥沙运动遥感分析](#)[期刊论文]-[水道港口](#) 2003(03)
3. Chen Jiyu;Zhu Huifang;Dong Yongfa [Development of the Changjiang Estuary and its submerged delta](#) 1985(01)
4. 陈吉余;陈沈良;丁平兴 [长江口南汇咀近岸水域泥沙输移途径](#)[期刊论文]-[长江流域资源与环境](#) 2001(02)
5. 王繁;周斌;徐建明 [杭州湾悬浮泥沙浓度垂向分布规律分析与模拟](#)[期刊论文]-[浙江大学学报\(工学版\)](#) 2008(11)
6. 谢文辉;陈沈良;谷国传 [崎岖列岛邻近海域的水文泥沙特征](#)[期刊论文]-[东海海洋](#) 2000(02)
7. 李炎;谢钦春 [杭州湾庵东浅滩地貌演变规律](#) 1993(02)
8. 倪永强;耿兆铨;朱军政 [杭州湾水动力特性研讨](#)[期刊论文]-[水动力学研究与进展a辑](#) 2003(04)
9. 陈鸣;李士鸿 [应用Landsat和NOAA遥感资料联合监测杭州湾的悬浮泥沙](#) 1989(03)
10. 吴传庆;王桥;杨志峰 [长江口及南海域泥沙遥感分析](#)[期刊论文]-[遥感技术与应用](#) 2007(06)
11. 李云驹;常庆瑞;杨晓梅 [长江口悬浮泥沙的MODIS影像遥感监测研究](#)[期刊论文]-[西北农林科技大学学报\(自然科学版\)](#) 2005(04)
12. 陈沈良;谷国传 [杭州湾口悬沙浓度变化与模拟](#)[期刊论文]-[泥沙研究](#) 2000(05)
13. Shen Fang;Verhoef Wouter;Zhou Yunxuan [Satellite estimates of wide-range suspended sediment concentrations in Changjiang\(Yangtze\)Estuary using MERIS data](#) 2010
14. 谷国传;李身铨;胡方西 [杭州湾北部近岸水域水文泥沙特性](#) 1987(04)
15. Ge Jianzhong;Chen Changsheng;Qi Jianhua [A dike-groyne algorithm in a terrain-following coordinate ocean model\(FVCOM\):Development,validation and application](#) 2012
16. 李久发 [长江河口南汇潮滩泥沙输移规律探讨](#) 1990(01)
17. 孔俊;叶荣辉;薛晓晓 [南汇东滩对长江口与杭州湾泥沙交换的影响研究](#)[期刊论文]-[水道港口](#) 2009(02)
18. 恽才兴;蒋孟裔;王宝全 [利用卫星象片分析长江入海悬浮泥沙扩散问题](#) 1981(05)
19. 刘红;何青;Gert Jan Weltje [长江入海泥沙的交换和输移过程—兼论泥质区的“泥库”效应](#)[期刊论文]-[地理学报](#) 2011(03)
20. 陈沈良;张国安;杨世伦 [长江口水域悬沙浓度时空变化与泥沙再悬浮](#)[期刊论文]-[地理学报](#) 2004(02)
21. 陈沈良 [崎岖列岛海区的水文泥沙及其峡道效应](#)[期刊论文]-[海洋学报](#) 2000(03)
22. 沈焕庭;李九发 [长江河口水沙输运](#) 2011
23. 曹沛奎;谷国传;董永发 [杭州湾泥沙运移的基本特征](#)[期刊论文]-[华东师范大学学报\(自然科学版\)](#) 1985(03)

引用本文格式: 刘猛, 沈芳, 葛建忠, 孔亚珍, LIU Meng, SHEN Fang, GE Jian-zhong, KONG Ya-zhen [静止轨道卫星观测杭州湾悬浮泥沙浓度的动态变化及动力分析](#)[期刊论文]-[泥沙研究](#) 2013(1)